**Dieser Text dient lediglich zu Informationszwecken und hat keine Rechtswirkung. Die EU-Organe übernehmen keine Haftung für seinen Inhalt. Verbindliche Fassungen der betreffenden Rechtsakte einschließlich ihrer Präambeln sind nur die im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlichten und auf EUR-Lex verfügbaren Texte. Diese amtlichen Texte sind über die Links in diesem Dokument unmittelbar zugänglich**

►**B** 

# DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2017/654 DER KOMMISSION

**vom 19. Dezember 2016**

**zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich technischer und allgemeiner Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte und die Typgenehmigung von Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte**

(ABl. L 102 vom 13.4.2017, S. 1)

Geändert durch:

| | | Amtsblatt | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Nr. | Seite | Datum |
| ►**M1** | Delegierte Verordnung (EU) 2018/236 der Kommission vom 20. Dezember 2017 | L 50 | 1 | 22.2.2018 |

Berichtigt durch:

►**C1** Berichtigung, ABl. L 103 vom 19.4.2017, S. 26 (2017/654)

►**C2** Berichtigung, ABl. L 226 vom 1.9.2017, S. 31 (2017/654)

▼B

# DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2017/654 DER KOMMISSION

**vom 19. Dezember 2016**

**zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich technischer und allgemeiner Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte und die Typgenehmigung von Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte**

*Artikel 1*

**Begriffsbestimmungen**

Es gelten folgende Begriffsbestimmungen:

1. „Wobbe-Index“ oder „W“ bezeichnet den Quotienten aus dem Heizwert eines Gases pro Volumeneinheit und der Quadratwurzel der relativen Dichte des Gases unter denselben Bezugsbedingungen:

$$W = H_{gas} \times \sqrt{\rho_{air}/\rho_{gas}}$$

2. „λ-Verschiebungsfaktor“ oder „$S_\lambda$“ bezeichnet einen Ausdruck, der die erforderliche Flexibilität eines Motorsteuerungssystems gegenüber einer Änderung des Luftüberschussfaktors λ beschreibt, wenn der Motor mit einem Gas betrieben wird, das nicht aus reinem Methan besteht;

3. „Flüssigkraftstoffbetrieb“ bezeichnet den Normalbetrieb eines Zweistoffmotors, wenn für sämtliche Motor-Betriebsbedingungen keine gasförmigen Kraftstoffe eingesetzt werden;

4. „Zweistoffbetrieb“ bezeichnet den Normalbetrieb eines Zweistoffmotors, wenn der Motor bei bestimmten Motor-Betriebsbedingungen gleichzeitig mit Flüssigkraftstoff und einem gasförmigen Kraftstoff betrieben wird;

5. „Partikelnachbehandlungssystem“ bezeichnet ein Abgasnachbehandlungssystem zur Verringerung luftverunreinigender Partikel mittels mechanischer, aerodynamischer, Diffusions- oder Trägheitsabscheidung;

6. „Regler“ bezeichnet eine Vorrichtung oder eine Steuerstrategie, welche die Motordrehzahl oder die Last automatisch steuert, ausgenommen Drehzahlbegrenzer, wie sie in Motoren der Klasse NRSh eingebaut sind, um die maximale Motordrehzahl zu dem ausschließlichen Zweck zu begrenzen, den Betrieb des Motors oberhalb einer bestimmten Drehzahl zu verhindern;

7. „Umgebungstemperatur“ bezeichnet in Laborumgebung (z. B. Filterwägeraum oder -kammer) die Temperatur in der beschriebenen Laborumgebung;

8. „Standard-Emissionsminderungsstrategie“ oder „BECS“ (Base Emission Control Strategy) bezeichnet eine Emissionsminderungsstrategie, die über den gesamten Drehmoment- und Drehzahlbereich des Motors aktiv ist, solange keine zusätzliche Emissionsminderungsstrategie aktiviert wird;

▼B

9. „Reagens“ bezeichnet jedes sich verbrauchende oder nicht rückgewinnbare Medium, das für das ordnungsgemäße Arbeiten des Abgasnachbehandlungssystems erforderlich ist und entsprechend verwendet wird;

10. „zusätzliche Emissionsminderungsstrategie“ oder „AECS“ (Auxiliary Emission Control Strategy) bezeichnet eine Emissionsminderungsstrategie, die in Abhängigkeit von spezifischen Umwelt- und/oder Betriebsbedingungen für einen bestimmten Zweck aktiv wird und eine Standard-Emissionsminderungsstrategie zweitweise ändert und nur so lange wirksam bleibt, wie diese Bedingungen anhalten;

11. „bestes fachliches Ermessen“ bezeichnet Entscheidungen, die im Einklang mit allgemein anerkannten wissenschaftlichen und technischen Grundsätzen sowie verfügbaren einschlägigen Informationen getroffen werden;

12. „hohe Drehzahl“ oder „$n_{hi}$“ bezeichnet die höchste Motordrehzahl, bei der sich 70 % der Höchstleistung einstellen;

13. „niedrige Drehzahl“ oder „$n_{lo}$“ bezeichnet die niedrigste Motordrehzahl, bei der sich 50 % der Höchstleistung einstellen;

14. „Maximalleistung“ oder „$P_{max}$“ bezeichnet die vom Hersteller in kW angegebene Maximalleistung;

15. „Teilstromverdünnung“ bezeichnet das Verfahren zur Analyse des Abgases bei Abtrennung eines Teils des Gesamtabgasstroms und die Vermischung dieses Teils mit einer ausreichenden Menge Verdünnungsluft vor dem Eintritt in den Partikel-Probenahmefilter;

16. „Drift“ bezeichnet die Abweichung zwischen einem Null- oder Kalibrierungssignal und dem jeweiligen, von einem Messinstrument unmittelbar nach seiner Verwendung in einer Emissionsprüfung ausgegebenen Wert;

17. „justieren“ bezeichnet die Anpassung eines Messgeräts, sodass es ein sachgerechtes Ergebnis für ein Kalibrierungsnormal liefert, das zwischen 75 % und 100 % des Höchstwerts des Messbereichs oder des voraussichtlich genutzten Bereichs darstellt;

18. „Justiergas“ bezeichnet ein gereinigtes Gasgemisch, das zum Justieren von Gasanalysatoren dient;

19. „HEPA-Filter“ bezeichnet Hochleistungsschwebstoff-Filter, die ihrer Einstufung zufolge gemäß der Norm ASTM F 1471–93 bei der Abscheidung von Partikeln einen anfänglichen Wirkungsgrad von 99,97 % erreichen;

20. „Kalibrierung“ bezeichnet den Vorgang, bei dem das Ansprechverhalten eines Messsystems auf ein Eingangssignal so eingestellt wird, dass seine Messergebnisse innerhalb einer Spanne von Bezugssignalen liegen;

21. „spezifische Emissionen“ bezeichnet die Schadstoffemissionen ausgedrückt in g/kWh;

22. „Bedieneingabe“ bezeichnet eine Eingabe des Bedienpersonals zur Steuerung des Motors;

▼B

23. „Drehzahl bei maximalem Drehmoment“ bezeichnet die Drehzahl, bei der der Motor das vom Hersteller angegebene höchste Drehmoment abgibt;

24. „geregelte Motordrehzahl“ bezeichnet die Betriebsdrehzahl des Motors, wenn sie vom eingebauten Regler gesteuert wird;

25. „Emissionen aus dem offenen Kurbelgehäuse“ bezeichnet jeden beliebigen Strom, der aus dem Kurbelgehäuse eines Motors unmittelbar in die Umwelt gelangt;

26. „Sonde“ bezeichnet den ersten Abschnitt der Leitung, durch die die Probe zum nächsten Bestandteil des Probenahmesystems befördert wird;

27. „Prüfintervall“ bezeichnet die Zeitspanne, in der die spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb ermittelt werden;

28. „Nullgas“ bezeichnet ein Gas, das bei Eingabe in einen Analysator den Wert null erzielt;

29. „genullt“ bedeutet, dass ein Instrument auf eine Weise angepasst wurde, dass es für ein Null-Kalibrierungsnormal, etwa gereinigten Stickstoff oder gereinigte Luft, ein Null-Ergebnis liefert;

30. „stationärer Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit variabler Drehzahl“ („variable speed non-road steady-state test cycle“ — im Folgenden „NRSC mit variabler Drehzahl“) bezeichnet einen stationären Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, der kein NRSC mit konstanter Drehzahl ist;

31. „stationärer Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit konstanter Drehzahl“ („constant speed non-road steady-state test cycle“ — im Folgenden „NRSC mit konstanter Drehzahl“) bezeichnet folgende, in Anhang IV der Verordnung (EU) 2016/1628 definierte stationäre Prüfzyklen für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte: D2, E2, G1, G2 oder G3;

32. „Aktualisierungsrate“ bezeichnet die Häufigkeit, mit der das Analysegerät neue, aktuelle Werte liefert;

33. „Kalibriergas“ bezeichnet ein gereinigtes Gasgemisch, das zum Kalibrieren von Gasanalysatoren dient;

34. „stöchiometrisch“ bezeichnet das besondere Verhältnis von Luft zu Kraftstoff, bei dem weder Kraftstoff noch Sauerstoff übrig bliebe, wenn der Kraftstoff vollständig oxidiert würde;

35. „Speichermedium“ bezeichnet einen Partikelfilter, einen Probenahmebeutel oder jede sonstige Aufbewahrungsvorrichtung, die für die Stichprobenahme verwendet wird;

36. „Vollstromverdünnung“ bezeichnet das Verfahren der Vermischung des Abgasstroms mit Verdünnungsluft vor Abtrennung eines Teils des verdünnten Abgases zur Analyse;

37. „Toleranz“ bezeichnet die Spanne, innerhalb deren 95 % der aufgezeichneten Werte einer bestimmten Menge liegen, während die übrigen 5 % der aufgezeichneten Werte außerhalb der Toleranz liegen;

▼B

38. „Wartungsbetrieb“ bezeichnet eine besondere Betriebsart von Zweistoffmotoren, die aktiviert wird, um nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte instand zu setzen oder um sie an einen sicheren Ort zu bewegen, wenn der Zweistoffbetrieb nicht möglich ist.

*Artikel 2*

**Anforderungen für andere spezifizierte Kraftstoffe, Kraftstoffmischungen oder Kraftstoffemulsionen**

Die Bezugskraftstoffe und andere spezifizierte Kraftstoffe, Kraftstoffmischungen oder Kraftstoffemulsionen, die von einem Hersteller in einem EU-Typgenehmigungsantrag gemäß Artikel 25 Absatz 2 der Verordnung (EU) 2016/1628 angegeben wurden, müssen den technischen Eigenschaften entsprechen und in der Beschreibungsmappe gemäß den Bestimmungen nach Anlage I dieser Verordnung beschrieben werden.

*Artikel 3*

**Regelungen zur Übereinstimmung der Produktion**

Zur Sicherstellung der Übereinstimmung der Motoren in der Produktion mit dem nach Artikel 26 Absatz 1 der Verordnung (EU) 2016/1628 genehmigten Typ treffen die Genehmigungsbehörden die Maßnahmen nach Anlage II dieser Verordnung und wenden die dort festgelegten Verfahren an.

*Artikel 4*

**Methode zur Anpassung der Ergebnisse der Emissionsprüfungen im Labor zur Einbeziehung von Verschlechterungsfaktoren**

Die Ergebnisse der Emissionsprüfungen im Labor werden angepasst, um nach der in Anhang III dieser Verordnung beschriebenen Methode Verschlechterungsfaktoren, auch bei der Messung der Partikelzahl (PN) und bei gasbetriebenen Motoren einzubeziehen, wie in Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe d, Artikel 25 Absatz 4 Buchstabe d und Artikel 25 Absatz 4 Buchstabe e der Verordnung (EU) 2016/1628 bestimmt.

*Artikel 5*

**Anforderungen hinsichtlich Emissionsminderungsstrategien, Maßnahmen zur Verringerung von $NO_x$ und Maßnahmen zur Partikelminderung**

Die Durchführung der Messungen und Prüfungen für Emissionsminderungsstrategien nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe f Ziffer i der Verordnung (EU) 2016/1628 und die Maßnahmen zur Verringerung von $NO_x$ nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe f Ziffer ii der genannten Verordnung sowie Maßnahmen zur Partikelminderung und die zu deren Demonstration erforderlichen Unterlagen müssen den technischen Anforderungen des Anhangs IV dieser Verordnung entsprechen.

▼B

*Artikel 6*

**Messungen und Prüfungen hinsichtlich des zum jeweiligen stationären Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte gehörenden Bereichs**

Die Durchführung der Messungen und Prüfungen hinsichtlich des in Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe f Ziffer iii der Verordnung (EU) 2016/1628 beschriebenen Bereichs muss den technischen Anforderungen des Anhangs V dieser Verordnung entsprechen.

*Artikel 7*

**Bedingungen und Methoden für die Durchführung der Prüfungen**

Die in Artikel 25 Absatz 3 Buchstaben a und b der Verordnung (EU) 2016/1628 beschriebenen Bedingungen für die Durchführung der Prüfungen, die Methoden zur Bestimmung der Werte für Motorlast und -drehzahl nach Artikel 24 der genannten Verordnung, die Methoden zur Berücksichtigung der Gasemissionen aus dem Kurbelgehäuse nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe e Ziffer i der genannten Verordnung und die Methoden zur Bestimmung und Berücksichtigung der kontinuierlichen und der periodischen Regenerierung von Abgasnachbehandlungssystemen nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe e Ziffer ii der genannten Verordnung müssen den Anforderungen in Anhang VI Abschnitte 5 und 6 dieser Verordnung entsprechen.

*Artikel 8*

**Verfahren zur Durchführung der Prüfungen**

Die Prüfungen nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe a und Buchstabe f Ziffer iv der Verordnung (EU) 2016/1628 sind gemäß den Verfahren nach Anhang VI Abschnitt 7 und Anhang VIII dieser Verordnung durchzuführen.

*Artikel 9*

**Verfahren zur Messung und Stichprobenahme von Emissionen**

Die Messung und Probenahme von Emissionen nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe b der Verordnung (EU) 2016/1628 sind gemäß den Verfahren nach Anhang VI Abschnitt 8 sowie Anhang VI Anlage 1 dieser Verordnung durchzuführen.

*Artikel 10*

**Geräte zur Durchführung von Prüfungen und zur Messung und Stichprobenahme von Emissionen**

Die Geräte zur Durchführung von Prüfungen nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe a der Verordnung (EU) 2016/1628 und zur Messung und Stichprobenahme von Emissionen nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe b der genannten Verordnung müssen den technischen Anforderungen und Eigenschaften nach Anhang VI Abschnitt 9 dieser Verordnung entsprechen.

▼B

*Artikel 11*

**Methode für die Datenauswertung und für Berechnungen**

Die Daten nach Artikel 25 Absatz 3 Buchstabe c der Verordnung (EU) 2016/1628 sind gemäß dem Verfahren nach Anhang VII dieser Verordnung auszuwerten und zu berechnen.

*Artikel 12*

**Technische Daten der Bezugskraftstoffe**

Die Bezugskraftstoffe nach Artikel 25 Absatz 2 der Verordnung (EU) 2016/1628 müssen die technischen Eigenschaften in Anhang IX dieser Verordnung aufweisen.

*Artikel 13*

**Detaillierte technische Spezifikationen und Bedingungen für die gesonderte Lieferung von Motor und zugehörigem Abgasnachbehandlungssystem**

Wenn ein Hersteller den Motor gemäß Artikel 34 Absatz 3 der Verordnung (EU) 2016/1628 gesondert von seinem Abgasnachbehandlungssystem an einen Originalgerätehersteller („OEM“) in der Union liefert, muss diese Lieferung den detaillierten technischen Spezifikationen und Bedingungen in Anhang X dieser Verordnung entsprechen.

*Artikel 14*

**Detaillierte technische Spezifikationen und Bedingungen für das vorübergehende Inverkehrbringen zu Zwecken der praktischen Erprobung**

Motoren, die über keine EU-Typgenehmigung nach der Verordnung (EU) 2016/1628 verfügen, dürfen nach Artikel 34 Absatz 4 der genannten Verordnung zu Zwecken der praktischen Erprobung vorübergehend in Verkehr gebracht werden, wenn sie den detaillierten technischen Spezifikationen und Bedingungen nach Anhang XI dieser Verordnung entsprechen.

*Artikel 15*

**Detaillierte technische Spezifikationen und Bedingungen für Motoren mit besonderer Zweckbestimmung**

EU-Typgenehmigungen für Motoren mit besonderer Zweckbestimmung und Zulassungen für das Inverkehrbringen dieser Motoren werden nach Artikel 34 Absätze 5 und 6 der Verordnung (EU) 2016/1628 gewährt, wenn die detaillierten technischen Spezifikationen und Bedingungen nach Anhang XII dieser Verordnung erfüllt sind.

*Artikel 16*

**Anerkennung gleichwertiger Typgenehmigungen für Motoren**

Die UNECE-Regelungen, auf die in Artikel 42 Absatz 4 Buchstabe a der Verordnung (EU) 2016/1628 verwiesen wird und die Rechtsakte der Union, auf die in Artikel 42 Absatz 4 Buchstabe b jener Verordnung verwiesen wird, sind in Anhang XIII dieser Verordnung aufgeführt.

▼B

*Artikel 17*

**Einzelheiten der einschlägigen Informationen und Anweisungen für Originalgerätehersteller**

Die Einzelheiten zu den Informationen und Anweisungen für Originalgerätehersteller, auf die in Artikel 43 Absätze 2, 3 und 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 verwiesen wird, sind in Anhang XIV dieser Verordnung aufgeführt.

*Artikel 18*

**Einzelheiten der einschlägigen Informationen und Anweisungen für Endnutzer**

Die Einzelheiten zu den Informationen und Anweisungen für Endnutzer, auf die in Artikel 43 Absätze 3 und 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 verwiesen wird, sind in Anhang XV dieser Verordnung aufgeführt.

*Artikel 19*

**Leistungsnormen und Bewertung technischer Dienste**

(1) Technische Dienste müssen die Leistungsnormen nach Anhang XVI erfüllen.

(2) Die Genehmigungsbehörden bewerten die technischen Dienste nach dem in Anhang XVI dieser Verordnung beschriebenen Verfahren.

*Artikel 20*

**Eigenschaften der stationären und dynamischen Prüfzyklen**

Die stationären und dynamischen Prüfzyklen gemäß Artikel 24 der Verordnung (EU) 2016/1628 müssen die technischen Eigenschaften nach Anhang XVII dieser Verordnung aufweisen.

*Artikel 21*

**Inkrafttreten und Geltung**

Diese Verordnung tritt am zwanzigsten Tag nach ihrer Veröffentlichung im *Amtsblatt der Europäischen Union* in Kraft.

Diese Verordnung ist in allen ihren Teilen verbindlich und gilt unmittelbar in jedem Mitgliedstaat.

▼B

*ANHÄNGE*


| Nummer des Anhangs | Titel des Anhangs | Seite |
|---|---|---|
| I | Anforderungen an alle weiteren angegebenen Kraftstoffe, Kraftstoff-Gemische oder Kraftstoff-Emulsionen | |
| II | Regelungen im Hinblick auf die Übereinstimmung der Produktion | |
| III | Methodik für die Anpassung der Prüfergebnisse des Emissionslabors unter Einbeziehung der Verschlechterungsfaktoren | |
| IV | Anforderungen in Bezug auf Emissionsminderungsstrategien, Maßnahmen zur Minderung der $NO_x$-Emissionen und Maßnahmen zur Minderung der Partikelemissionen | |
| V | Messungen und Prüfungen hinsichtlich des zum jeweiligen stationären Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte gehörenden Bereichs | |
| VI | Bedingungen, Methoden, Verfahren und Geräte für die Durchführung von Prüfungen und für die Messung und Probenahme von Emissionen | |
| VII | Methode zur Datenevaluierung und Berechnungen | |
| VIII | Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Zweistoffmotoren | |
| IX | Technische Merkmale der Bezugskraftstoffe | |
| X | Einzelheiten der technischen Spezifikationen und Bedingungen für die Lieferung eines Motors getrennt von seinem Abgasnachbehandlungssystem | |
| XI | Einzelheiten der technischen Spezifikationen und Bedingungen für das vorübergehende Inverkehrbringen zum Zwecke der Betriebsprüfung | |
| XII | Einzelheiten der technischen Spezifikationen und Bedingungen für Motoren mit besonderer Zweckbestimmung | |
| XIII | Anerkennung gleichwertiger Typgenehmigungen für Motoren | |
| XIV | Einzelheiten der relevanten Informationen und Anweisungen für Erstausrüster (OEM) | |
| XV | Einzelheiten der relevanten Informationen und Anweisungen für Endnutzer | |
| XVI | Leistungsnormen und Bewertung technischer Dienste | |
| XVII | Merkmale der stationären und instationären Prüfzyklen | |

▼B

*ANHANG I*

**Anforderungen an alle weiteren angegebenen Kraftstoffe, Kraftstoff-Gemische oder Kraftstoff-Emulsionen**

1. **Anforderungen an mit Flüssigkraftstoffen betriebene Motoren**

1.1. Bei der Beantragung einer EU-Typgenehmigung können die Hersteller in Bezug auf die Kraftstofffähigkeit des Motors eine der folgenden Optionen wählen:

a) Motor mit normaler Kraftstofffähigkeit gemäß den Anforderungen in Nummer 1.2; oder

b) kraftstoffspezifischer Motor gemäß den Anforderungen in Nummer 1.3.

1.2. Anforderungen an einen Motor mit normaler Kraftstofffähigkeit (Diesel, Ottokraftstoffe)

Ein Motor mit normaler Kraftstofffähigkeit muss die in den Nummern 1.2.1 bis 1.2.4 angegebenen Anforderungen erfüllen.

1.2.1. Der Stammmotor muss die in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 angegebenen anzuwendenden Grenzwerte und die in dieser Verordnung angegebenen Anforderungen erfüllen, wenn der Motor mit den in Anhang IX Abschnitte 1.1 oder 2.1 genannten Bezugskraftstoffen betrieben wird.

1.2.2. In Ermangelung einer Norm des Europäischen Komitees für Normung („CEN-Norm“) für nicht für den Straßenverkehr bestimmtes Gasöl oder einer Tabelle mit Kraftstoffeigenschaften für nicht für den Straßenverkehr bestimmtes Gasöl in der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates [1] muss der Diesel-Bezugskraftstoff (nicht für den Straßenverkehr bestimmtes Gasöl) in Anhang IX handelsüblichen Gasölen mit einem Schwefelgehalt nicht höher als 10 mg/kg, einer Cetanzahl von mindestens 45 und einem Fettsäuremethylestergehalt (im Folgenden „FAME“) von höchstens 7,0 % v/v entsprechen. Der Hersteller gibt den Endnutzern eine entsprechende Erklärung gemäß den Anforderungen in Anhang XV ab, dass der Betrieb des Motors mit nicht für den Straßenverkehr bestimmtem Gasöl auf Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt von höchstens 10 mg/kg (20 mg/kg am letzten Punkt der Verteilung), einer Cetanzahl von mindestens 45 und einem FAME-Gehalt von höchstens 7,0 % v/v begrenzt ist, es sei denn, die Nummern 1.2.2.1, 1.2.3 und 1.2.4 lassen etwas anderes zu. Der Hersteller kann fakultativ andere Kenngrößen angeben (z. B. für die Schmierfähigkeit).

1.2.2.1. Der Motorhersteller darf zum Zeitpunkt der Erteilung der Typgenehmigung nicht angeben, dass ein Motortyp oder eine Motorenfamilie innerhalb der Union mit anderen handelsüblichen Kraftstoffen als denen, die den Anforderungen in diesem Absatz entsprechen, betrieben werden darf, es sei denn, der Hersteller erfüllt auch die Anforderung in Nummer 1.2.3.

a) Für Ottokraftstoffe gelten die Richtlinie 98/70/EG oder die CEN-Norm EN 228:2012. Schmieröl kann entsprechend den Angaben des Herstellers zugesetzt werden.

b) Für Diesel (außer nicht für den Straßenverkehr zugelassenes Gasöl) gelten die Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates oder die CEN-Norm EN 590:2013.

[1] Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselkraftstoffen und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates (ABl. L 350 vom 28.12.1998, S. 58).

▼B

c) Für Diesel (nicht für den Straßenverkehr bestimmtes Gasöl) gelten die Richtlinie 98/70/EG sowie eine Cetanzahl von mindestens 45 und ein FAME-Gehalt von höchstens 7,0 % v/v.

1.2.3. Gestattet der Hersteller den Betrieb von Motoren mit weiteren handelsüblichen Kraftstoffen als den in Nummer 1.2.2 genannten, etwa den Betrieb mit B100 (EN 14214:2012+A1:2014), B20 oder B30 (EN 16709:2015) oder mit bestimmten Kraftstoffen, Kraftstoff-Gemischen oder Kraftstoff-Emulsionen, muss der Hersteller zusätzlich zu den in Nummer 1.2.2.1 genannten Anforderungen alle nachfolgend aufgeführten Maßnahmen ergreifen:

a) in dem Beschreibungsbogen, der in der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 der Kommission ([1]) enthalten ist, die Spezifikation der handelsüblichen Kraftstoffe, Kraftstoff-Gemische oder -Emulsionen angeben, mit denen die Motorenfamilie betrieben werden kann;

b) nachweisen, dass der Stammmotor in der Lage ist, die Anforderungen dieser Verordnung in Bezug auf die angegebenen Kraftstoffe, Kraftstoff-Gemische oder -Emulsionen zu erfüllen;

c) sich verpflichten, die Anforderungen für die Überwachung während des Betriebs zu erfüllen, die in der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 der Kommission ([2]) hinsichtlich der angegeben Kraftstoffe, Kraftstoff-Gemische oder -Emulsionen aufgeführt sind, einschließlich jeder Mischung aus den angegebenen Kraftstoffen, Kraftstoff-Gemischen oder -Emulsionen und dem entsprechenden handelsüblichen Kraftstoff nach Nummer 1.2.2.1.

1.2.4. Bei Fremdzündungsmotoren muss das Mischungsverhältnis von Kraftstoff und Öl der Empfehlung des Herstellers entsprechen. Der Prozentsatz von Öl in der Kraftstoff-/Schmierstoff-Mischung muss in dem in der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 enthaltenen Beschreibungsbogen angegeben sein.

1.3. Anforderungen an einen kraftstoffspezifischen (ED 95 oder E 85) Motor

Ein kraftstoffspezifischer (ED 95 oder E85) Motor muss die in den Nummern 1.3.1 und 1.3.2 angegebenen Anforderungen erfüllen.

1.3.1. Für ED 95 muss der Stammmotor die in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 angegebenen anzuwendenden Grenzwerte einhalten und die in dieser Verordnung enthaltenen Anforderungen erfüllen, wenn der Motor mit dem in Anhang IX Nummer 1.2 genannten Bezugskraftstoff betrieben wird.

1.3.2. Für E 85 muss der Stammmotor die in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 angegebenen anzuwendenden Grenzwerte einhalten und die in dieser Verordnung enthaltenen Anforderungen erfüllen, wenn der Motor mit dem in Anhang IX Nummer 2.2 genannten Bezugskraftstoff betrieben wird.

([1]) Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 der Kommission vom 19. Dezember 2016 zur Festlegung der verwaltungstechnischen Anforderungen für die Emissionsgrenzwerte und die Typgenehmigung von Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte gemäß der Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates (siehe Seite 364 dieses Amtsblatts).

([2]) Delegierte Verordnung (EU) 2017/655 der Kommission vom 19. Dezember 2016 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Überwachung der Emissionen gasförmiger Schadstoffe von in Betrieb befindlichen Verbrennungsmotoren in nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten siehe Seite 334 dieses Amtsblatts).

▼B

2. **Anforderungen an Motoren, die mit Erdgas/Biomethan (NG) oder Flüssiggas (LPG) betrieben werden, einschließlich Zweistoffmotoren**

2.1. Bei der Beantragung einer EU-Typgenehmigung können die Hersteller in Bezug auf die Kraftstofffähigkeit des Motors eine der folgenden Optionen wählen:

a) Motor mit Vielstofffähigkeit gemäß den Anforderungen in Nummer 2.3;

b) Motor mit beschränkter Kraftstofffähigkeit gemäß den Anforderungen in Nummer 2.4;

c) kraftstoffspezifischer Motor gemäß den Anforderungen in Nummer 2.5.

2.2. In Anlage 1 sind die Anforderungen für die Genehmigung von mit Erdgas/Biomethan (NG) oder Flüssiggas (LPG) betriebenen Motoren und von Zweistoffmotoren tabellarisch zusammengefasst.

2.3. Anforderungen an einen Motor mit Vielstofffähigkeit

2.3.1. Bei mit Erdgas/Biomethan betriebenen Motoren, einschließlich Zweistoffmotoren, muss der Hersteller nachweisen, dass die Stammmotoren in der Lage sind, sich an jede am Markt möglicherweise angebotene Erdgas-/Biomethanzusammensetzung anzupassen. Dieser Nachweis muss nach diesem Absatz 2 erbracht werden, sowie bei Zweistoffmotoren auch gemäß den zusätzlichen Bestimmungen für das Verfahren für die Anpassung an den Kraftstoff gemäß Anhang VIII Nummer 6.4.

2.3.1.1. Bei komprimiertem Erdgas/Biomethan (CNG) gibt es in der Regel zwei Arten von Kraftstoff: Kraftstoff mit hohem Heizwert (Gasgruppe H) und Kraftstoff mit niedrigem Heizwert (Gasgruppe L), innerhalb der beiden Gruppen ist die Spannbreite jedoch groß; erhebliche Unterschiede treten in Bezug auf den mit dem Wobbe-Index ausgedrückten Energiegehalt und den λ-Verschiebungsfaktor ($S_\lambda$) auf. Erdgas mit einem λ-Verschiebungsfaktor zwischen 0,89 und 1,08 ($0,89 \leq S_\lambda \leq 1,08$) wird der Gasgruppe H zugerechnet, während Erdgas mit einem λ-Verschiebungsfaktor zwischen 1,08 und 1,19 ($1,08 \leq S_\lambda \leq 1,19$) der Gasgruppe L zugerechnet wird. Die Zusammensetzung der Bezugskraftstoffe trägt der extremen Veränderlichkeit von $S_\lambda$ Rechnung.

Der Stammmotor muss mit den in Anhang IX spezifizierten Bezugskraftstoffen $G_R$ (Kraftstoff 1) und $G_{25}$ (Kraftstoff 2) oder den entsprechenden Kraftstoffen, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang IX Anlage 1 entstehen, die Anforderungen dieser Verordnung erfüllen, ohne dass zwischen den beiden Prüfungen eine manuelle Neueinstellung des Kraftstoffzufuhrsystems des Motors erforderlich ist (Selbstanpassung vorgeschrieben). Nach dem Kraftstoffwechsel ist ein Anpassungslauf zulässig. Beim Anpassungslauf wird die Vorkonditionierung für die anschließende Emissionsprüfung gemäß den jeweiligen Prüfzyklen durchgeführt. Bei Motoren, die den stationären Prüfzyklen für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte („NRSC“) unterzogen werden, bei denen der Vorkonditionierungszyklus für die Kraftstoff-Selbstanpassung nicht geeignet ist, kann vor der Vorkonditionierung des Motors ein vom Hersteller spezifizierter alternativer Anpassungslauf durchgeführt werden.

2.3.1.1.1 Der Hersteller kann den Motor mit einem dritten Kraftstoff (Kraftstoff 3) prüfen, wenn der λ-Verschiebungsfaktor ($S_\lambda$) zwischen 0,89 (d. h. im unteren Bereich von $G_R$) und 1,19 (d. h. im oberen Bereich von $G_{25}$) liegt, z. B. wenn Kraftstoff 3 ein handelsüblicher Kraftstoff ist. Die Ergebnisse dieser Prüfung können als Grundlage für die Bewertung der Übereinstimmung der Produktion herangezogen werden.

▼B

2.3.1.2. Bei Motoren, die mit Flüssigerdgas/verflüssigtem Biomethan (LNG) betrieben werden, muss der Stammmotor mit den in Anhang IX dieser Verordnung spezifizierten Bezugskraftstoffen $G_R$ (Kraftstoff 1) und $G_{20}$ (Kraftstoff 2) oder den entsprechenden Kraftstoffen, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang IX Anlage 1 entstehen, die Anforderungen dieser Verordnung erfüllen, ohne dass zwischen den beiden Prüfungen eine manuelle Neueinstellung des Kraftstoffzufuhrsystems des Motors erforderlich ist (Selbstanpassung vorgeschrieben). Nach dem Kraftstoffwechsel ist ein Anpassungslauf zulässig. Beim Anpassungslauf wird die Vorkonditionierung für die anschließende Emissionsprüfung gemäß den jeweiligen Prüfzyklen durchgeführt. Bei Motoren, die der NRSC-Prüfung unterzogen werden und bei denen der Vorkonditionierungszyklus für die Kraftstoff-Selbstanpassung nicht geeignet ist, kann vor der Vorkonditionierung des Motors ein vom Hersteller spezifizierter alternativer Anpassungslauf durchgeführt werden.

2.3.2. Bei Motoren, die mit komprimiertem Erdgas/Biomethan (CNG) betrieben werden, die sich an die Gasgruppe H einerseits und die Gasgruppe L andererseits selbst anpassen können und bei denen die Umschaltung zwischen der Gasgruppe H und der Gasgruppe L mittels eines Schalters erfolgt, ist der Stammmotor bei jeder Schalterstellung mit dem jeweiligen in Anhang IX für jede Gasgruppe spezifizierten Bezugskraftstoff zu prüfen. Die Kraftstoffe sind $G_R$ (Kraftstoff 1) und $G_{23}$ (Kraftstoff 3) für die Gasgruppe H und $G_{25}$ (Kraftstoff 2) und $G_{23}$ (Kraftstoff 3) für die Gasgruppe L oder die entsprechenden Kraftstoffe, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang IX Anlage 1 entstehen. Der Stammmotor muss die Anforderungen dieser Verordnung in beiden Schalterstellungen erfüllen, ohne dass zwischen den beiden Prüfungen bei der jeweiligen Schalterstellung eine Neueinstellung der Kraftstoffzufuhr erfolgt. Nach dem Kraftstoffwechsel ist ein Anpassungslauf zulässig. Beim Anpassungslauf wird die Vorkonditionierung für die anschließende Emissionsprüfung gemäß den jeweiligen Prüfzyklen durchgeführt. Bei Motoren, die der NRSC-Prüfung unterzogen werden und bei denen der Vorkonditionierungszyklus für die Kraftstoff-Selbstanpassung nicht geeignet ist, kann vor der Vorkonditionierung des Motors ein vom Hersteller spezifizierter alternativer Anpassungslauf durchgeführt werden.

2.3.2.1. Der Hersteller kann den Motor mit einem dritten Kraftstoff (Kraftstoff 3) anstelle von $G_{23}$ prüfen, wenn der λ-Verschiebungsfaktor ($S_\lambda$) zwischen 0,89 (d. h. im unteren Bereich von $G_R$) und 1,19 (d. h. im oberen Bereich von $G_{25}$) liegt, z. B. wenn Kraftstoff 3 ein handelsüblicher Kraftstoff ist. Die Ergebnisse dieser Prüfung können als Grundlage für die Bewertung der Übereinstimmung der Produktion herangezogen werden.

2.3.3. Bei mit Erdgas-/Biomethan betriebenen Motoren ist das Verhältnis der Emissionsmessergebnisse „r“ für jeden Schadstoff wie folgt zu ermitteln:

$$r = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 2}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 1}}$$

oder

$$r_a = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 2}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 3}}$$

und

$$r_b = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 1}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 3}}$$

▼B

2.3.4. Bei mit LPG betriebenen Motoren muss der Hersteller nachweisen, dass die Stammmotoren in der Lage sind, sich an jede am Markt möglicherweise angebotene Kraftstoffzusammensetzung anzupassen.

Bei mit LPG betriebenen Motoren gibt es unterschiedliche $C_3/C_4$-Zusammensetzungen. Diese Unterschiede werden bei den Bezugskraftstoffen deutlich. Der Stammmotor muss die Emissionsanforderungen hinsichtlich der Bezugskraftstoffe A und B gemäß der Beschreibung im Anhang IX erfüllen, ohne dass zwischen den beiden Prüfungen eine Neueinstellung der Kraftstoffzufuhr erfolgt. Nach dem Kraftstoffwechsel ist ein Anpassungslauf zulässig. Beim Anpassungslauf wird die Vorkonditionierung für die anschließende Emissionsprüfung gemäß den jeweiligen Prüfzyklen durchgeführt. Bei Motoren, die der NRSC-Prüfung unterzogen werden und bei denen der Vorkonditionierungszyklus für die Kraftstoff-Selbstanpassung nicht geeignet ist, kann vor der Vorkonditionierung des Motors ein vom Hersteller spezifizierter alternativer Anpassungslauf durchgeführt werden.

2.3.4.1. Das Verhältnis der Emissionsmessergebnisse „r“ für jeden Schadstoff ist wie folgt zu ermitteln:

$$r = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff B}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff A}}$$

2.4. Anforderungen an einen Motor mit beschränkter Kraftstofffähigkeit

Ein Motor mit beschränkter Kraftstofffähigkeit muss die in den Nummern 2.4.1 bis 2.4.3 angegebenen Anforderungen erfüllen.

2.4.1. Bei Motoren, die mit CNG betrieben werden und für den Betrieb entweder mit der Gasgruppe H oder mit der Gasgruppe L ausgelegt sind

2.4.1.1. Der Stammmotor ist mit dem entsprechenden Bezugskraftstoff gemäß Anhang IX für die jeweilige Gasgruppe zu prüfen. Die Kraftstoffe sind $G_R$ (Kraftstoff 1) und $G_{23}$ (Kraftstoff 3) für die Gasgruppe H und $G_{25}$ (Kraftstoff 2) und $G_{23}$ (Kraftstoff 3) für die Gasgruppe L oder die entsprechenden Kraftstoffe, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang IX Anlage 1 entstehen. Der Stammmotor muss die Anforderungen dieser Verordnung erfüllen, ohne dass zwischen den beiden Prüfungen eine Neueinstellung der Kraftstoffzufuhr erfolgt. Nach dem Kraftstoffwechsel ist ein Anpassungslauf zulässig. Beim Anpassungslauf wird die Vorkonditionierung für die anschließende Emissionsprüfung gemäß den jeweiligen Prüfzyklen durchgeführt. Bei Motoren, die der NRSC-Prüfung unterzogen werden und bei denen der Vorkonditionierungszyklus für die Kraftstoff-Selbstanpassung nicht geeignet ist, kann vor der Vorkonditionierung des Motors ein vom Hersteller spezifizierter alternativer Anpassungslauf durchgeführt werden.

2.4.1.2. Der Hersteller kann den Motor mit einem dritten Kraftstoff (Kraftstoff 3) anstelle von $G_{23}$ prüfen, wenn der λ-Verschiebungsfaktor ($S_\lambda$) zwischen 0,89 (d. h. im unteren Bereich von $G_R$) und 1,19 (d. h. im oberen Bereich von $G_{25}$) liegt, z. B. wenn Kraftstoff 3 ein handelsüblicher Kraftstoff ist. Die Ergebnisse dieser Prüfung können als Grundlage für die Bewertung der Übereinstimmung der Produktion herangezogen werden.

▼B

2.4.1.3. Das Verhältnis der Emissionsmessergebnisse „r“ für jeden Schadstoff ist wie folgt zu ermitteln:

$$r = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 2}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 1}}$$

oder,

$$r_a = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 2}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 3}}$$

und

$$r_b = \frac{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 1}}{\text{Emissionsergebnis bei Bezugskraftstoff 3}}$$

2.4.1.4. Bei Auslieferung an den Kunden muss der Motor mit einem Schild gemäß Anhang III der Verordnung (EU) 2016/1628 versehen sein, auf dem angegeben ist, für welche Gasgruppe der Motor die EU-Typgenehmigung erhalten hat.

2.4.2. Bei Motoren, die mit Erdgas oder LPG betrieben werden und für den Betrieb mit Kraftstoff einer bestimmten Zusammensetzung ausgelegt sind

2.4.2.1. Der Stammmotor muss den Emissionsanforderungen für die Bezugskraftstoffe $G_R$ und $G_{25}$ oder die entsprechenden Kraftstoffe, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang IX Anlage 1 entstehen, im Falle von CNG, für die Bezugskraftstoffe $G_R$ und $G_{20}$ oder die entsprechenden Kraftstoffe, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang VI Anlage 2 entstehen, im Falle von LNG, gemäß Anhang IX entsprechen. Zwischen den Prüfungen ist eine Feinabstimmung zulässig. Diese Feinabstimmung besteht in einer Nachkalibrierung der Datenbasis des Kraftstoffsystems, ohne dass es zu einer Änderung der grundlegenden Steuerstrategie oder der grundlegenden Struktur der Datenbasis kommt. Erforderlichenfalls ist der Austausch von Teilen zulässig, die unmittelbaren Einfluss auf den Kraftstoffdurchsatz haben (z. B. Einspritzdüsen).

2.4.2.2. Bei mit CNG betriebenen Motoren kann der Hersteller den Motor mit den Bezugskraftstoffen $G_R$ und $G_{23}$, oder mit den Bezugskraftstoffen $G_{25}$ und $G_{23}$ oder mit den entsprechenden Kraftstoffen, die durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen gemäß Anhang IX Anlage 1 entstehen, geprüft werden; in diesem Fall gilt die EU-Typgenehmigung nur für die Gasgruppe H bzw. die Gasgruppe L

2.4.2.3. Bei Auslieferung an den Kunden muss der Motor mit einem Schild gemäß Anhang III der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 versehen sein, auf dem angegeben ist, für welche Kraftstoffzusammensetzung der Motor kalibriert wurde.

2.5. Anforderungen an einen kraftstoffspezifischen Motor, der mit Flüssigerdgas/Flüssigbiomethan (LNG) betrieben wird

Ein kraftstoffspezifischer Motor, der mit Flüssigerdgas/Flüssigbiomethan betrieben wird, muss den Anforderungen der Nummern 2.5.1 bis 2.5.2 entsprechen.

2.5.1. Anforderungen an einen kraftstoffspezifischen Motor, der mit Flüssigerdgas/Flüssigbiomethan (LNG) betrieben wird

▼B

2.5.1.1. Der Motor wird für eine spezielle LNG-Gaszusammensetzung kalibriert, woraus ein λ-Verschiebungsfaktor resultiert, der um höchstens 3 % von dem λ-Verschiebungsfaktor des in Anhang IX genannten $G_{20}$-Kraftstoffs abweicht, und dessen Ethan-Gehalt 1,5 % nicht übersteigt.

2.5.1.2. Werden die Anforderungen in Nummer 2.5.1.1 nicht erfüllt, so beantragt der Hersteller einen Motor mit Vielstofffähigkeit gemäß den Bestimmungen in Nummer 2.1.3.2.

2.5.2. Anforderungen an einen kraftstoffspezifischen Motor, der mit Flüssigerdgas (LNG) betrieben wird

2.5.2.1. Bei einer Zweistoff-Motorenfamilie sind die Motoren für eine spezielle LNG-Gaszusammensetzung zu kalibrieren, woraus ein λ-Verschiebungsfaktor resultiert, der um höchstens 3 % von dem λ-Verschiebungsfaktor des in Anhang IX genannten $G_{20}$-Kraftstoffs abweicht, und dessen Ethan-Gehalt 1,5 % nicht übersteigt, ist der Stammmotor gemäß den Bestimmungen von Anhang IX Anlage 1 nur mit dem $G_{20}$-Bezugsgaskraftstoff oder mit dem entsprechenden Kraftstoff, der durch Beimischung von Leitungsgas zu anderen Gasen entsteht, zu prüfen.

2.6. EU-Typgenehmigung eines Motors einer Motorenfamilie

2.6.1. Außer in dem in Nummer 2.6.2 genannten Fall wird die EU-Typgenehmigung eines Stammmotors für jede Kraftstoffzusammensetzung innerhalb derselben Gruppe, für die die EU-Typgenehmigung des Stammmotors gilt (im Fall von Motoren nach Nummer 2.5), oder für dieselben Kraftstoffe, für die die EU-Typgenehmigung des Stammmotors gilt (im Fall von Motoren nach Nummer 2.3 oder 2.4), ohne erneute Prüfung auf alle Motoren einer Motorenfamilie erweitert.

2.6.2. Stellt der technische Dienst fest, dass der eingereichte Antrag hinsichtlich des ausgewählten Stammmotors für die in Anhang IX der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 beschriebene Motorenfamilie nicht vollständig repräsentativ ist, so kann er einen anderen und gegebenenfalls einen zusätzlichen Bezugsprüfmotor auswählen und prüfen.

2.7. Zusätzliche Anforderungen an Zweistoffmotoren

Um eine EU-Typgenehmigung für einen Zweistoffmotor oder eine Zweistoffmotorenfamilie zu erhalten, muss der Hersteller:

a) die Prüfungen gemäß Anlage 1 Tabelle 1.3 durchführen;

b) zusätzlich zu den Anforderungen in Abschnitt 2 nachweisen, dass die Zweistoffmotoren den Prüfungen unterzogen werden und den Anforderungen in Anhang VIII entsprechen.

▼C1

*Anlage 1*

**Zusammenfassung des Genehmigungsverfahrens für mit Erdgas und LPG betriebene Motoren einschließlich Zweistoffmotoren**

Die Tabellen 1.1 und 1.3 enthalten eine Zusammenfassung des Genehmigungsverfahrens für mit Erdgas und LPG betriebene Motoren und der Mindestanzahl der für die Typgenehmigung von Zweistoffmotoren erforderlichen Prüfungen

*Tabelle 1.1*

**EU-Typgenehmigung von mit Erdgas betriebenen Motoren**

| | Nummer 2.3: Anforderungen an einen Motor mit Vielstofffähigkeit | Anzahl der Prüfläufe | Berechnung von „r“ | Nummer 2.4: Anforderungen an einen Motor mit beschränkter Kraftstofffähigkeit | Anzahl der Prüfläufe | Berechnung von „r“ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Siehe Nummer 2.3.1<br>Erdgasmotor mit Anpassung an jede Kraftstoffzusammensetzung | $G_R$ (1) und $G_{25}$ (2)<br>Auf Antrag des Herstellers kann der Motor mit einem zusätzlichen handelsüblichen Kraftstoff (3) geprüft werden<br>wenn $S_l$ = 0,89 – 1,19 | 2<br>(höchstens 3) | $r = \frac{\text{fuel 2}(G_{25})}{\text{fuel 1}(G_R)}$<br>und, falls mit einem zusätzlichen Kraftstoff geprüft,<br>$r_a = \frac{\text{fuel 2}(G_{25})}{\text{fuel 3(market fuel)}}$<br>und<br>$r_b = \frac{\text{fuel 1}(G_R)}{\text{fuel 3}(G_{23} \text{ or market fuel})}$ | | | |
| Siehe Nummer 2.3.2<br>Erdgasmotor mit Umschaltung durch Schalter | $G_R$ (1) und $G_{23}$ (3) für H und<br>$G_{25}$ (2) und $G_{23}$ (3) für L<br>Auf Antrag des Herstellers kann der Motor mit einem marktüblichen Kraftstoff (Kraftstoff 3) anstelle von $G_{23}$ geprüft werden,<br>wenn $S_l$ = 0,89 – 1,19 | 2 für die Gasgruppe H und<br>2 für die Gasgruppe L<br>bei der jeweiligen Schalterstellung | $r_b = \frac{\text{fuel 1}(G_R)}{\text{fuel 3}(G_{23} \text{ or market fuel})}$<br>und<br>$r_a = \frac{\text{fuel 2}(G_{25})}{\text{fuel 3}(G_{23} \text{ or market fuel})}$ | | | |
| Siehe Nummer 2.4.1<br>Erdgasmotor für den Betrieb mit Kraftstoff entweder der Gasgruppe H oder L | | | | $G_R$ (1) und $G_{23}$ (3) für H oder<br>$G_{25}$ (2) und $G_{23}$ (3) für L<br>Auf Antrag des Herstellers kann der Motor mit einem marktüblichen Kraftstoff (Kraftstoff 3) anstelle von $G_{23}$ geprüft werden,<br>wenn $S_l$ = 0,89 – 1,19 | 2 für die Gasgruppe H<br>oder<br>2 für die Gasgruppe L<br>2 | $r_b = \frac{\text{fuel 1}(G_R)}{\text{fuel 3}(G_{23} \text{ or market fuel})}$<br>für die Gasgruppe H<br>oder<br>$r_a = \frac{\text{fuel 2}(G_{25})}{\text{fuel 3}(G_{23} \text{ or market fuel})}$<br>für die Gasgruppe L |

▼C1

| | Nummer 2.3: Anforderungen an einen Motor mit Vielstofffähigkeit | Anzahl der Prüfläufe | Berechnung von „r“ | Nummer 2.4: Anforderungen an einen Motor mit beschränkter Kraftstofffähigkeit | Anzahl der Prüfläufe | Berechnung von „r“ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Siehe Nummer 2.4.2<br>Erdgasmotor für den Betrieb mit Kraftstoff einer bestimmten Zusammensetzung | | | | $G_R$ (1) und $G_{25}$ (2),<br>zwischen den Prüfungen ist eine Feinabstimmung zulässig;<br>Auf Antrag des Herstellers kann der Motor mit folgenden Kraftstoffen geprüft werden:<br>$G_R$ (1) und $G_{23}$ (3) für H oder<br>$G_{25}$ (2) und $G_{23}$ (3) für L | 2<br>2 für die Gasgruppe H<br>oder<br>2 für die Gasgruppe L | |

*Tabelle 1.2*

**EU-Typgenehmigung von mit LPG betriebenen Motoren**

| | Nummer 2.3: Anforderungen an einen Motor mit Vielstofffähigkeit | Anzahl der Prüfläufe | Berechnung von „r“ | Nummer 2.4: Anforderungen an einen Motor mit beschränkter Kraftstofffähigkeit | Anzahl der Prüfläufe | Berechnung von „r“ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Siehe Nummer 2.3.4<br>LPG-Motor mit Anpassung an jede Kraftstoffzusammensetzung | Kraftstoff A und Kraftstoff B | 2 | $r = \frac{\text{fuel B}}{\text{fuel A}}$ | | | |
| Siehe Nummer 2.4.2<br>LPG-Motor für den Betrieb mit Kraftstoff einer bestimmten Zusammensetzung | | | | Kraftstoff A und Kraftstoff B zwischen den Prüfungen ist eine Feinabstimmung zulässig | 2 | |

*Tabelle 1.3*

**Mindestanzahl der für die EU-Typgenehmigung von Zweistoffmotoren erforderlichen Prüfungen**

| Zweistoffmotortyp | Flüssigkraftstoffbetrieb | Zweistoffbetrieb | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | komprimiertes Erdgas (CNG) | Flüssigerdgas (LNG) | $LNG_{20}$ | LPG |
| 1A | | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) | Vielstofffähigkeit (2 Prüfungen) | kraftstoffspezifisch (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) |
| 1B | Vielstofffähigkeit (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) | Vielstofffähigkeit (2 Prüfungen) | kraftstoffspezifisch (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) |

▼C1

| Zweistoffmotortyp | Flüssigkraftstoffbetrieb | Zweistoffbetrieb | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | komprimiertes Erdgas (CNG) | Flüssigerdgas (LNG) | $LNG_{20}$ | LPG |
| 2A | | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) | Vielstofffähigkeit (2 Prüfungen) | kraftstoffspezifisch (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) |
| 2B | Vielstofffähigkeit (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) | Vielstofffähigkeit (2 Prüfungen) | kraftstoffspezifisch (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) |
| 3B | Vielstofffähigkeit (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) | Vielstofffähigkeit (2 Prüfungen) | kraftstoffspezifisch (1 Prüfung) | Vielstofffähigkeit oder Gasgruppeneinschränkung (2 Prüfungen) |

▼B

*ANHANG II*

**Regelungen im Hinblick auf die Übereinstimmung der Produktion**

1. **Begriffsbestimmungen**

Für die Zwecke dieses Anhangs bezeichnet der Begriff

1.1. „Qualitätsmanagementsystem“ einen Satz miteinander in Verbindung und Wechselwirkung stehender Elemente, mit denen Organisationen lenken und überprüfen können, wie Qualitätsstrategien umgesetzt und Qualitätsziele erreicht werden;

1.2. „Audit“ ein Verfahren zur Sammlung von Nachweisen, die dazu dienen zu bewerten, wie gut Auditkriterien im Hinblick auf das Ziel, objektiv, unparteiisch und unabhängig vorzugehen, angewendet werden, und das geregelt durchgeführt sowie dokumentiert wird;

1.3. „Abhilfemaßnahmen“ einen Problemlösungsprozess, bei dem die Ursachen einer Nichtübereinstimmung oder nicht wünschenswerten Situation schrittweise beseitigt werden und durch den deren Wiederauftreten verhindert werden soll.

2. **Zweck**

2.1. Die Regelungen im Hinblick auf die Übereinstimmung der Produktion sollen gewährleisten, dass hergestellte Motoren den Spezifikationen, Leistungs- und Kennzeichnungsanforderungen des genehmigten Motortyps oder der genehmigten Motorenfamilie entsprechen

2.2. Die Verfahren beinhalten untrennbar die Bewertung der in Abschnitt 3 dargestellten Qualitätsmanagementsysteme („Anfangsbewertung“) sowie die Überprüfung und produktbezogene Kontrollen gemäß Abschnitt 4 („Vorkehrungen für die Übereinstimmung der Produkte“).

3. **Anfangsbewertung**

3.1. Vor Erteilung der EU-Typgenehmigung überprüft die Genehmigungsbehörde das Vorhandensein angemessener Vorkehrungen und Verfahren, die der Hersteller getroffen bzw. geschaffen hat, um eine wirksame Kontrolle zu gewährleisten, damit Motoren während der Produktion mit dem genehmigten Motortyp oder der genehmigten Motorenfamilie übereinstimmen.

3.2. Die Leitfäden für Audits von Qualitätsmanagement- und/oder Umweltmanagementsystemen gemäß der Norm EN ISO 19011:2011 gelten für die Anfangsbewertung.

3.3. Die Genehmigungsbehörde gibt sich mit der Anfangsbewertung und den Vorkehrungen für die Übereinstimmung der Produkte gemäß Abschnitt 4 zufrieden, wobei sie erforderlichenfalls eine der Bestimmungen nach den Nummern 3.3.1 bis 3.3.3 oder gegebenenfalls eine Kombination dieser Bestimmungen ganz oder teilweise berücksichtigt.

3.3.1. Die Anfangsbewertung und/oder Überprüfung der Vorkehrungen für die Übereinstimmung der Produkte wird von der Genehmigungsbehörde, die die Genehmigung erteilt, oder von einer benannten Stelle im Auftrag der Genehmigungsbehörde durchgeführt.

3.3.1.1. Bei der Erwägung des Umfangs der durchzuführenden Anfangsbewertung kann die Genehmigungsbehörde vorliegende Informationen bezüglich der Zertifizierung des Herstellers berücksichtigen, die nach Nummer 3.3.3 nicht anerkannt wurde.

3.3.2. Die Anfangsbewertung und Überprüfung der Vorkehrungen für die Übereinstimmung der Produkte kann auch von der Genehmigungsbehörde eines anderen Mitgliedstaats oder der von der Genehmigungsbehörde dafür benannten Stelle durchgeführt werden.

▼B

3.3.2.1. In diesem Fall stellt die Genehmigungsbehörde des anderen Mitgliedstaats eine Übereinstimmungserklärung aus, in der die Bereiche und Produktionsanlagen angegeben sind, die für die Motoren, für die eine EU-Typgenehmigung erteilt werden soll, von Bedeutung sind.

3.3.2.2. Auf Antrag der Genehmigungsbehörde eines Mitgliedstaats, die die EU-Typgenehmigung erteilt, übermittelt die Genehmigungsbehörde eines anderen Mitgliedstaats unverzüglich die Übereinstimmungserklärung oder teilt mit, dass sie nicht in der Lage ist, eine solche Erklärung zu liefern.

3.3.2.3. In der Übereinstimmungserklärung sollten mindestens aufgeführt werden:

3.3.2.3.1. Unternehmensgruppe oder Unternehmen (z. B. Fahrzeugbau XYZ);

3.3.2.3.2. besondere Organisation: (z. B. Unternehmensbereich Europa);

3.3.2.3.3. Werke/Standorte (z. B. Motorenwerk 1 (Vereinigtes Königreich) Motorenwerk 2 (Deutschland));

3.3.2.3.4. Erfasste Motortypen/Motorenfamilien

3.3.2.3.5. bewertete Bereiche (z. B. Motorenfertigung, Motorprüfung, Herstellung von Nachbehandlungssystemen)

3.3.2.3.6. geprüfte Unterlagen (z. B. Qualitätshandbuch und -verfahren des Unternehmens und des betreffenden Werks);

3.3.2.3.7. Datum der Bewertung (z. B. Prüfung vom 18. bis zum 30.5.2013);

3.3.2.3.8. geplanter Kontrollbesuch (z. B. Oktober 2014).

3.3.3. Die Genehmigungsbehörde erkennt auch die ordnungsgemäße Zertifizierung des Herstellers nach der harmonisierten Norm EN ISO 9001:2008 oder einer gleichwertigen harmonisierten Norm als Erfüllung der Anforderungen der Anfangsbewertung gemäß Nummer 3.3 an. Der Hersteller liefert detaillierte Angaben über die Zertifizierung und sorgt dafür, dass die Genehmigungsbehörde über jede Änderung der Geltungsdauer oder des Geltungsbereichs unterrichtet wird.

4. **Vorkehrungen für die Übereinstimmung der Produkte**

4.1. Jeder Motor, der gemäß der Verordnung (EU) 2016/1628, der vorliegenden Delegierten Verordnung, der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 und der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 eine EU-Typgenehmigung erhält, ist so herzustellen, dass er mit dem genehmigten Motortyp oder der genehmigten Motorenfamilie übereinstimmt, indem er die Anforderungen dieses Anhangs, der Verordnung (EU) 2016/1628 und der oben genannten Delegierten Verordnung und Durchführungsverordnung erfüllt.

4.2. Bevor die Genehmigungsbehörde eine EU-Typgenehmigung nach der Verordnung (EU) 2016/1628 und den gemäß der genannten Verordnung erlassenen delegierten Rechtsakten und Durchführungsrechtsakten erteilt, überprüft sie, ob geeignete Vorkehrungen getroffen wurden und schriftlich fixierte, für jede Genehmigung mit dem Hersteller abzustimmende Prüfverfahren vorhanden sind, nach denen in festgelegten Abständen jene Prüfungen oder entsprechenden Überprüfungen durchgeführt werden können, die erforderlich sind, um die kontinuierliche Übereinstimmung mit dem genehmigten Motortyp oder der genehmigten Motorenfamilie zu gewährleisten; dies umfasst gegebenenfalls die in der Verordnung (EU) 2016/1628 und den gemäß dieser Verordnung erlassenen delegierten Rechtsakten und Durchführungsrechtsakten festgelegten Prüfungen.

▼B

4.3. Der Inhaber einer EG-Typgenehmigung muss

4.3.1. sicherstellen, dass Verfahren für eine wirksame Kontrolle der Übereinstimmung der Motoren mit dem genehmigten Motortyp oder der genehmigten Motorenfamilie zur Verfügung stehen und angewendet werden;

4.3.2. Zugang zu Prüfeinrichtungen oder sonstigen geeigneten Einrichtungen haben, die für die Kontrolle der Übereinstimmung mit dem jeweils genehmigten Motortyp oder der jeweils genehmigten Motorenfamilie erforderlich sind;

4.3.3. sicherstellen, dass die Prüf- oder Kontrollergebnisse aufgezeichnet werden und die Aufzeichnungen und dazugehörigen Unterlagen während eines mit der Genehmigungsbehörde zu vereinbarenden Zeitraums von bis zu zehn Jahren eingesehen werden können;

4.3.4. für Motoren der Klassen NRSh und NRS, außer für NRS-v-2b und NRS-v-3, sicherstellen, dass für jeden Motortyp mindestens die in der Verordnung (EU) 2016/1628 und den gemäß dieser Verordnung erlassenen delegierten Rechtsakten und Durchführungsrechtsakten vorgeschriebenen Kontrollen und Prüfungen durchgeführt werden. Für andere Klassen können Prüfungen auf der Ebene des Bauteils oder der Anordnung von Bauteilen anhand eines angemessenen Kriteriums zwischen dem Hersteller und der Genehmigungsbehörde vereinbart werden;

4.3.5. die Ergebnisse jeder Art von Prüfung oder Kontrolle auswerten, um die Beständigkeit der Produktmerkmale unter Berücksichtigung der in der Serienproduktion üblichen Streuung nachweisen und gewährleisten zu können;

4.3.6. sicherstellen, dass alle Stichproben oder Prüfteilmuster, die bei einer bestimmten Prüfung oder Kontrolle den Nachweis einer Nichtübereinstimmung geliefert haben, Anlass für eine weitere Probenahme und Prüfung oder Kontrolle sind.

4.4. Werden die in Nummer 4.3.6 genannten Prüf- oder Kontrollergebnisse von der Genehmigungsbehörde als nicht zufriedenstellend erachtet, muss der Hersteller sicherstellen, dass die Übereinstimmung der Produktion durch Korrekturmaßnahmen zur Zufriedenheit der Genehmigungsbehörde baldmöglichst wiederhergestellt wird.

5. **Bestimmungen für die fortlaufende Überprüfung**

5.1. Die Behörde, die die EU-Typgenehmigung erteilt hat, kann jederzeit die in jeder Fertigungsanlage angewandten Verfahren zur Kontrolle der Übereinstimmung der Produktion überprüfen. Hierzu gestattet der Hersteller den Zugang zu den Stätten der Herstellung, Begutachtung, Prüfung, Lagerung sowie des Vertriebs und stellt alle erforderlichen Informationen über die Unterlagen und Aufzeichnungen des Qualitätsmanagementsystems bereit.

5.1.1. Das normale Konzept für solche regelmäßigen Audits besteht darin, dass die fortdauernde Wirksamkeit der in den Abschnitten 3 und 4 beschriebenen Verfahren überwacht wird. (Anfangsbewertung und Vorkehrungen für die Übereinstimmung der Produkte).

5.1.1.1. Von einer Zertifizierungsstelle (die nach Nummer 3.3.3 qualifiziert oder anerkannt ist) durchgeführte Überwachungstätigkeiten müssen als Erfüllung der Anforderung nach Abschnitt 5.1.1 bezüglich der bei der Anfangsbewertung eingeführten Verfahren akzeptiert werden.

▼B

5.1.1.2. Die (anderen als unter Nummer 5.1.1.1 genannten) Überprüfungen, um sicherzustellen, dass die entsprechenden gemäß den Abschnitten 3 und 4 dieses Anhangs durchgeführten Überprüfungen der Übereinstimmung der Produktion über einen Zeitraum wiederholt werden, der sich mit dem von der Genehmigungsbehörde geschaffenen vertrauensvollen Klima im Einklang befindet, sind mindestens einmal alle zwei Jahre durchzuführen. Die Genehmigungsbehörde führt jedoch zusätzliche Überprüfungen durch, abhängig von der jährlichen Produktion, den Ergebnissen früherer Bewertungen, dem Erfordernis, Korrekturmaßnahmen zu überwachen sowie auf begründeten Antrag einer anderen Genehmigungsbehörde oder einer Marktüberwachungsbehörde.

5.2. Bei jeder Überprüfung sind dem Prüfer die Aufzeichnungen über Prüfungen, Kontrollen und über die Produktion zur Verfügung zu stellen, insbesondere die Aufzeichnungen über die dokumentierten Prüfungen und Kontrollen gemäß Nummer 4.2.

5.3. Der Prüfer kann stichprobenweise Muster für die Prüfung im Labor des Herstellers oder in den Einrichtungen des technischen Dienstes auswählen, wobei in Letzteren nur physische Prüfungen durchgeführt werden. Die Mindestanzahl von Mustern kann aufgrund der Ergebnisse der herstellerseitigen Prüfungen festgelegt werden.

5.4. Erscheint die Qualität der Kontrollen als nicht zufriedenstellend oder erscheint es angebracht, die Gültigkeit der nach Nummer 5.2 durchgeführten Prüfungen nachzuprüfen, oder aufgrund eines begründeten Antrags einer anderen Genehmigungsbehörde oder einer Marktüberwachungsbehörde, muss der Prüfer Stichproben auswählen, die im Labor des Herstellers geprüft oder dem technischen Dienst zugesandt werden, damit dann physische Prüfungen entsprechend den Anforderungen nach Abschnitt 6, nach der Verordnung (EU) 2016/1628 und nach den gemäß der genannten Verordnung erlassenen delegierten und Durchführungsrechtsakten physische Prüfungen durchgeführt werden

5.5. Wenn die Genehmigungsbehörde bei einer Inspektion oder einer Überprüfung oder eine Genehmigungsbehörde in einem anderen Mitgliedstaat gemäß Artikel 39 Absatz 3 der Verordnung (EU) 2016/1628 zu unbefriedigenden Ergebnissen kommt, so stellt die Genehmigungsbehörde sicher, dass alle notwendigen Maßnahmen getroffen werden, um die Übereinstimmung der Produktion so schnell wie möglich wiederherzustellen.

6. **Anforderungen an Prüfungen der Übereinstimmung der Produktion in Fällen einer in Nummer 5.4 genannten unzureichenden Kontrolle der Übereinstimmung der Produkte**

6.1. Bei einer nicht zufriedenstellenden Qualität der Kontrollen der Übereinstimmung der Produkte gemäß Nummer 5.4 oder Nummer 5.5 ist die Übereinstimmung der Produktion durch Emissionsprüfungen auf der Grundlage der Beschreibung in den EU-Typgenehmigungsbogen in Anhang IV der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 zu prüfen.

6.2. Sofern in Nummer 6.3 nicht anders angegeben, gilt folgendes Verfahren:

6.2.1. Der Serienproduktion sind drei Motoren und gegebenenfalls drei Abgasnachbehandlungssysteme nach dem Zufallsprinzip für die Kontrolle zu entnehmen. Zusätzliche Motoren werden nach Bedarf entnommen, um eine positive oder negative Entscheidung zu ermöglichen. Für eine positive Entscheidung sind mindestens vier Motoren zu prüfen.

6.2.2. Nach Auswahl der Motoren durch den Prüfer darf der Hersteller an den ausgewählten Motoren keinerlei Einstellung vornehmen.

▼B

6.2.3. Die Motoren werden einer Emissionsprüfung gemäß den Anforderungen in Anhang VI oder, bei Zweistoffmotoren, gemäß Anhang VIII Anlage 2 sowie den gemäß Anhang XVII für diesen Motortyp relevanten Prüfzyklen unterzogen.

6.2.4. Es gelten die Grenzwerte, die in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 angegeben sind. Bei einem Motor mit Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer Regenerierung gemäß Anhang VI Nummer 6.6.2 muss jedes Emissionsergebnis für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel um den für den Motortyp geltenden Faktor korrigiert werden. In allen Fällen werden Emissionsergebnisse für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel durch Anwendung der entsprechenden Verschlechterungsfaktoren (DF) für diesen Motortyp gemäß Anhang III korrigiert.

6.2.5. Die Prüfungen werden an neu gefertigten Motoren durchgeführt.

6.2.5.1. Auf Antrag des Herstellers können die Prüfungen an Motoren durchgeführt werden, die entweder 2 % der Dauerhaltsbarkeitsperiode oder, sofern es sich dabei um einen kürzeren Zeitraum handelt, 125 Stunden eingefahren wurden. Dabei wird das Einfahrverfahren vom Hersteller durchgeführt; dieser verpflichtet sich, an den Motoren keinerlei Einstellung vorzunehmen. Hat der Hersteller in Nummer 3.3 des Beschreibungsbogens gemäß Anhang I der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 ein Einfahrverfahren angegeben, so ist das Einfahren nach diesem Verfahren durchzuführen.

6.2.6. Die Serienproduktion der in Betracht kommenden Motoren gilt auf der Grundlage von Stichprobenprüfungen der Motoren gemäß der Anlage 1 als übereinstimmend bzw. nicht übereinstimmend mit dem genehmigten Typ, wenn nach den Prüfkriterien der Anlage 1 und gemäß Abbildung 2.1 eine positive Entscheidung in Bezug auf alle Schadstoffe oder eine negative Entscheidung in Bezug auf einen Schadstoff gefällt wurde.

6.2.7. Wurde eine positive Entscheidung in Bezug auf einen Schadstoff getroffen, so wird diese nicht durch zusätzliche Prüfungen beeinflusst, die zu einer Entscheidung in Bezug auf die übrigen Schadstoffe führen sollen.

Wird keine positive Entscheidung in Bezug auf sämtliche Schadstoffe und keine negative Entscheidung in Bezug auf keinen Schadstoff erreicht, so ist eine Prüfung an einem anderen Motor durchzuführen.

6.2.8. Der Hersteller kann die Prüfung jederzeit unterbrechen, wenn keine Entscheidung erzielt wird. In diesem Fall wird eine negative Entscheidung in das Protokoll aufgenommen.

6.3. Abweichend von Nummer 6.2.1 findet bei Motortypen mit Verkaufszahlen innerhalb der EU von weniger als 100 Einheiten pro Jahr folgendes Verfahren Anwendung:

6.3.1. Der Serienproduktion des betrachteten Motortyps ist einer der Motoren und gegebenenfalls ein Abgasnachbehandlungssystem nach dem Zufallsprinzip für die Kontrolle zu entnehmen.

6.3.2. Erfüllt der Motor die Anforderungen in Nummer 6.2.4, so wird eine positive Entscheidung getroffen und eine weitere Prüfung ist nicht erforderlich.

6.3.3. Erfüllt der Motor die Anforderungen in Nummer 6.2.4 nicht, so wird das Verfahren gemäß den Nummern 6.2.6 bis 6.2.9 angewandt.

▼B

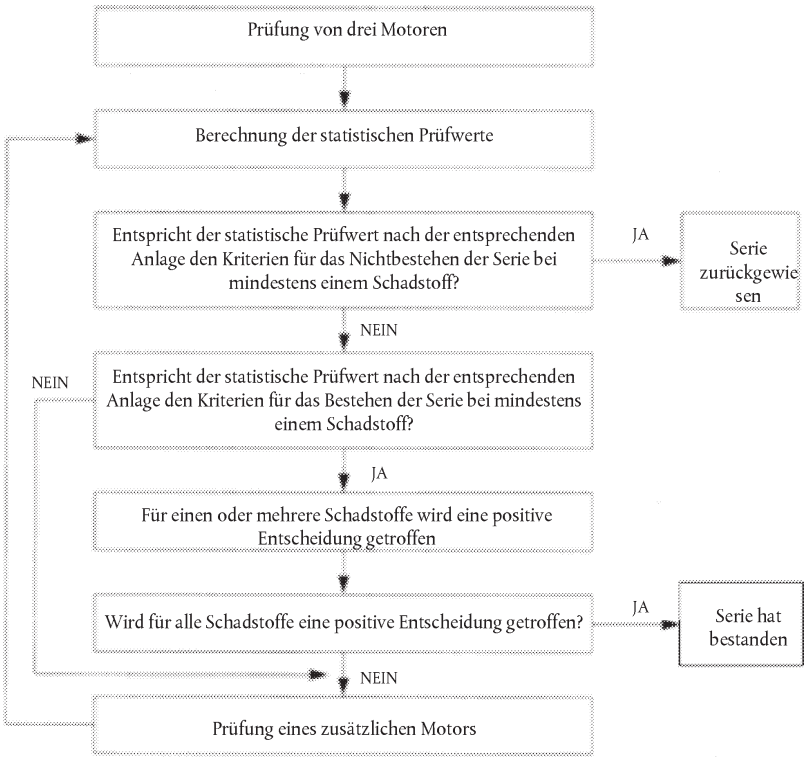
6.4. Bei all diesen Prüfungen ist der entsprechende handelsübliche Kraftstoff zulässig. Auf Antrag des Herstellers können jedoch die in Anhang IX beschriebenen Bezugskraftstoffe verwendet werden. Das bedeutet, dass, wie in Anhang I Anlage 1 beschrieben, Prüfungen mit mindestens zwei der Bezugskraftstoffe für jeden gasbetriebenen Motor durchzuführen sind, außer bei einem gasbetriebenen Motor mit kraftstoffspezifischer EU-Typgenehmigung, für die nur ein Bezugskraftstoff erforderlich ist. Wird mehr als ein gasförmiger Bezugskraftstoff verwendet, so müssen die Ergebnisse nachweisen, dass der Motor mit jedem Bezugskraftstoff die Grenzwerte einhält.

6.5. Nichtübereinstimmung von gasbetriebenen Motoren

Bei Meinungsverschiedenheiten bezüglich der Einhaltung der Grenzwerte durch gasbetriebene Motoren, einschließlich Zweistoffmotoren, bei Betrieb mit handelsüblichem Kraftstoff sind die Prüfungen mit jedem Bezugskraftstoff durchzuführen, mit dem der Stammmotor geprüft wurde, und auf Antrag des Herstellers gegebenenfalls mit dem zusätzlichen dritten Kraftstoff, auf den in Anhang I Nummer 2.3.1.1.1, 2.3.2.1 und 2.4.1.2 Bezug genommen wird und der gegebenenfalls zur Prüfung des Stammmotors verwendet wurde. Gegebenenfalls ist das Ergebnis durch eine Berechnung unter Anwendung der einschlägigen Faktoren „$r$“, „$r_a$“ oder „$r_b$“ gemäß Anhang I Nummer 2.3.3, 2.3.4.1 und 2.4.1.3 umzuformen. Sind $r$, $r_a$ oder $r_b$ weniger als 1, so wird keine Berichtigung vorgenommen. Aus den Messergebnissen und gegebenenfalls den berechneten Ergebnissen muss hervorgehen, dass der Motor die Grenzwerte beim Betrieb mit allen entsprechenden Kraftstoffen (z. B. Kraftstoffe 1, 2 und gegebenenfalls 3 bei Erdgas-/Biomethanmotoren und Kraftstoffe A und B bei LPG-Motoren) einhält.

*Abbildung 2.1*

**Schema für die Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion**



▼B

*Anlage 1*

**Verfahren zur Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion**

1. In dieser Anlage wird das Verfahren beschrieben, mit dem auf Antrag des Herstellers die Übereinstimmung der Produktion hinsichtlich der Schadstoffemissionen überprüft wird.

2. Bei einer Stichprobengröße von mindestens drei Motoren ist das Stichprobenverfahren so zu wählen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein zu 30 % fehlerhaftes Los eine Prüfung besteht, 0,90 (Herstellerrisiko = 10 %) beträgt. Hingegen liegt die Wahrscheinlichkeit, dass ein zu 65 % fehlerhaftes Los angenommen wird, bei 0,10 (Verbraucherrisiko= 10 %).

3. Folgendes Verfahren wird für alle Schadstoffemissionen verwendet (siehe Abbildung 2.1):

   Es sei: n = Stichprobengröße.

4. Der statistische Prüfwert, der die kumulierte Anzahl an negativen Prüfungen bei der n-ten Prüfung quantifiziert, ist für die Stichprobe zu ermitteln.

5. Dann gilt:

   a) Liegt der statistische Prüfwert unter dem der Stichprobengröße entsprechenden Wert für eine positive Entscheidung oder ist er gleich diesem (siehe Tabelle 2.1), so ist in Bezug auf den Schadstoff eine positive Entscheidung zu treffen.

   b) Liegt der statistische Prüfwert über dem der Stichprobengröße entsprechenden Wert für eine negative Entscheidung oder ist er gleich diesem (siehe Tabelle 2.1), so ist in Bezug auf den Schadstoff eine negative Entscheidung zu treffen.

   c) Andernfalls wird ein weiterer Motor gemäß Nummer 6.2 geprüft, und das Berechnungsverfahren ist auf die um eine Einheit vergrößerte Stichprobe anzuwenden.

Die Grenzwerte für positive und negative Entscheidungen der Tabelle 2.1 sind anhand der Internationalen Norm ISO 8422/1991 zu berechnen.

*Tabelle 2.1*

**Prüfstatistik für die Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion**

Mindeststichprobengröße: 3 Mindeststichprobengröße für positive Entscheidung: 4

| Kumulierte Anzahl der geprüften Motoren (Stichprobengröße) | Anzahl der positiven Entscheidungen | Anzahl der negativen Entscheidungen |
|---|---|---|
| 3 | — | 3 |
| 4 | 0 | 4 |
| 5 | 0 | 4 |
| 6 | 1 | 5 |
| 7 | 1 | 5 |
| 8 | 2 | 6 |
| 9 | 2 | 6 |

▼B

| Kumulierte Anzahl der geprüften Motoren (Stichprobengröße) | Anzahl der positiven Entscheidungen | Anzahl der negativen Entscheidungen |
|---|---|---|
| 10 | 3 | 7 |
| 11 | 3 | 7 |
| 12 | 4 | 8 |
| 13 | 4 | 8 |
| 14 | 5 | 9 |
| 15 | 5 | 9 |
| 16 | 6 | 10 |
| 17 | 6 | 10 |
| 18 | 7 | 11 |
| 19 | 8 | 9 |

▼B

*ANHANG III*

**Methodik für die Anpassung der Prüfergebnisse des Emissionslabors unter Einbeziehung der Verschlechterungsfaktoren**

1. **Begriffsbestimmungen**

Im Sinne dieses Anhangs bezeichnet der Ausdruck

1.1. „Alterungszyklus“ den Betrieb von nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen oder Geräten (Drehzahl, Last, Leistung), der während des Betriebsakkumulationszeitraums realisiert werden soll;

1.2. „kritische emissionsrelevante Bauteile“ die Abgasnachbehandlungsanlage, die elektronische Motorsteuereinheit mit den zugehörigen Sensoren und Aktoren sowie die Abgasrückführungsanlage (AGR) einschließlich aller mit ihr zusammenhängenden Filter, Kühler, Steuerventile und Rohrleitungen;

1.3. „kritische emissionsrelevante Wartung“ die Wartung, die bei kritischen emissionsrelevanten Bauteilen des Motors durchzuführen ist;

1.4. „emissionsrelevante Wartung“ die Wartung, die sich wesentlich auf Emissionen auswirkt oder sich wahrscheinlich auf die Verschlechterung der Emissionsleistung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräte oder des Motors im normalen Fahrbetrieb auswirken wird;

1.5. „Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie“ eine vom Hersteller gebildete Untermenge von Motoren einer Motorenfamilie, die jedoch in eine weitere Unterfamilie von Motorenfamilien mit ähnlichen Abgasnachbehandlungssystemen unterteilt sind;

1.6. „nicht emissionsrelevante Wartung“ die Wartung, die die Emissionen nicht erheblich beeinflusst und die Verschlechterung der Emissionsleistung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräte oder des Motors während des normalen Betriebs nicht dauerhaft beeinflusst, nachdem die Wartung durchgeführt worden ist;

1.7. „Betriebsakkumulationsprogramm“ den Alterungszyklus und den Betriebsakkumulationszeitraum zur Festlegung von Verschlechterungsfaktoren für die Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie.

2. **Allgemeines**

2.1. In diesem Anhang werden die Verfahren für die Auswahl jener Motoren beschrieben, die in einem Betriebsakkumulationsprogramm zur Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren im Rahmen des EU-Typgenehmigungsverfahrens und der Bewertung der Übereinstimmung der Produktion bei Motoren oder Motorenfamilien geprüft werden. Die Verschlechterungsfaktoren werden auf die gemäß Anhang VI gemessenen Emissionen angewandt und gemäß Anhang VII berechnet entsprechend dem Verfahren nach Nummer 3.2.7 bzw. Nummer 4.3.

2.2. Bei den zur Bestimmung der Verschlechterung durchgeführten Betriebsakkumulationsprüfungen oder Emissionsprüfungen muss kein Vertreter der Genehmigungsbehörde zugegen sein.

▼B

2.3. In diesem Anhang sind außerdem die emissionsrelevanten und nicht emissionsrelevanten Wartungsarbeiten aufgeführt, die an Motoren, die einem Betriebakkumulationsprogramm unterzogen werden, vorgenommen werden sollten oder dürfen. Diese Wartung muss der Wartung entsprechen, die an in Betrieb befindlichen Motoren vorgenommen und den Endnutzern von neuen Motoren mitgeteilt wird.

3. **Motorenklassen NRE, NRG, IWP, IWA, RLL, RLR, SMB, ATS und Unterklassen NRS-v-2b und NRS-v-3**

3.1. Auswahl der Motoren für die Festlegung von Verschlechterungsfaktoren für die Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode

3.1.1. Aus der gemäß Anhang IX Abschnitt 2 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 festgelegten Motorenfamilie werden Motoren für die Emissionsprüfung zur Bestimmung der Verschlechterungsfaktoren für die Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode entnommen.

3.1.2. 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 technischer Merkmale und Installation des Abgasnachbehandlungssystems ähneln, in einer Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie zusammenfassen möchte, muss er der Genehmigungsbehörde Daten vorlegen, aus denen hervorgeht, dass die Leistung der Emissionsreduzierung dieser Motoren ähnlich ist.

3.1.3. Der Motorenhersteller wählt einen Motor aus, der für die Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie gemäß Nummer 3.1.2 repräsentativ ist. Dieser Motor wird über das in Nummer 3.2.2 genannte Betriebsakkumulationsprogramm geprüft. Vor Beginn der Prüfungen ist die Genehmigungsbehörde über den gewählten Motor zu informieren.

3.1.4. Falls die Genehmigungsbehörde zu dem Schluss kommt, dass es günstiger ist, den schlechtesten Emissionswert des Abgasnachbehandlungssystems der Motorenfamilie anhand eines anderen Prüfmotors zu bestimmen, so ist der zu verwendende Prüfmotor von der Genehmigungsbehörde und dem Hersteller gemeinsam auszuwählen.

3.2. Bestimmung von Verschlechterungsfaktoren für die Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode

3.2.1. Allgemeines

Die für eine Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie geltenden Verschlechterungsfaktoren sind von den ausgewählten Motoren auf Grundlage eines Betriebsakkumulationsprogramms abzuleiten, das die regelmäßige Prüfung auf gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel während der einzelnen Prüfzyklen gemäß Anhang IV der Verordnung (EU) 2016/1628 umfasst. Bei instationären Prüfzyklen für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte der Klasse NRE („NRTC“) sind nur die Ergebnisse des Warmstartlaufs des NRTC („NRTC mit Warmstart“) zu verwenden.

3.2.1.1. Auf Antrag des Herstellers kann die Genehmigungsbehörde die Verwendung von Verschlechterungsfaktoren erlauben, die mit anderen Verfahren als mit den in den Nummern 3.2.2 bis 3.2.5 beschriebenen ermittelt wurden. In diesem Fall muss der Hersteller zur Zufriedenheit der Genehmigungsbehörde nachweisen, dass diese alternativen Verfahren mindestens so streng sind, wie die in Nummer 3.2.2 bis 3.2.5 beschriebenen Verfahren.

▼B

3.2.2. Betriebsakkumulationsprogramm

Betriebsakkumulationsprogramme kann der Hersteller entweder anhand einer im Betrieb befindlichen nicht für den Straßenverkehr zugelassenen mobilen Maschine mit dem gewählten Motor oder anhand des Betriebs des gewählten Motors auf dem Prüfstand durchführen. Die Verwendung von Bezugskraftstoff für Emissionsmessungen zwischen den Prüfpunkten des Betriebsakkumulationsprogramms wird nicht vorgeschrieben.

3.2.2.1. Betriebsakkumulation im Betrieb und auf dem Prüfstand

3.2.2.1.1. Der Hersteller bestimmt nach bestem fachlichen Ermessen die Art und die Dauer des Betriebsakkumulationsprogramms und des Alterungszyklus für die Motoren.

3.2.2.1.2. Der Hersteller legt fest, wann während der entsprechenden Zyklen gasförmige und Partikelemissionen gemessen werden.

3.2.2.1.2.1. Läuft ein Betriebsakkumulationsprogramm kürzer als die Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode nach Nummer 3.2.2.1.7, so muss es mindestens drei Prüfpunkte geben, einen zu Beginn, einen etwa in der Mitte und einen am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms.

3.2.2.1.2.2. Wird die Betriebsakkumulationsprüfung bis zum Ende der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode fertiggestellt, so muss es mindestens zwei Prüfpunkte geben, einen zu Beginn und einen am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms.

3.2.2.1.2.3. Der Hersteller kann zusätzlich an gleichmäßig verteilten Zwischenprüfpunkten prüfen.

3.2.2.1.3. Die Emissionswerte am Anfang und am Ende der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode, die gemäß Nummer 3.2.5.1 errechnet oder gemäß Nummer 3.2.2.1.2.2 direkt gemessen werden, müssen den für die Motorenfamilie geltenden Grenzwerten entsprechen. Einzelne Emissionsergebnisse der Prüfpunkte dürfen diese Grenzwerte jedoch überschreiten.

3.2.2.1.4. Bei Motorenklassen oder Unterklassen, für die ein NRTC gilt, oder bei Motoren der Klasse oder Unterklassen NRS, für die ein instationärer Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit großen Motoren mit Fremdzündung („LSI-NRTC“) gilt, kann der Hersteller die Zustimmung der Genehmigungsbehörde dazu beantragen, dass an jedem Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (entweder NRTC mit Warmstart bzw. LSI-NRTC oder NRSC) durchgeführt wird und den anderen Prüfzyklus lediglich am Anfang und am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms durchzuführen.

3.2.2.1.5. Bei Motorenklassen oder Unterklassen, für die in Anhang IV der Verordnung (EU) 2016/1628 keine anzuwendende instationäre Prüfung für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte festgelegt ist, wird an jedem Prüfpunkt nur der NRSC durchgeführt.

3.2.2.1.6. Die Betriebsakkumulationsprogramme können bei Motoren verschiedener Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilien unterschiedlich sein.

3.2.2.1.7. Die Betriebsakkumulationsprogramme können kürzer als die Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode sein, aber sie dürfen nicht kürzer als mindestens ein Viertel der entsprechenden, in Anhang V der Verordnung (EU) 2016/1628 angegebenen Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode sein.

▼B

3.2.2.1.8. 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 Prozent übersteigen.

3.2.2.1.9. Der Hersteller kann mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde andere Methoden zur beschleunigten Alterung verwenden.

3.2.2.1.10. Das Betriebsakkumulationsprogramm ist im Antrag auf EU-Typgenehmigung ausführlich zu beschreiben und vor Aufnahme der Prüfungen der Genehmigungsbehörde mitzuteilen.

3.2.2.2. Falls die Genehmigungsbehörde 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 das Betriebsakkumulationsprogramm überarbeiten und von der Genehmigungsbehörde billigen lassen.

3.2.3. Motorprüfung

3.2.3.1. Stabilisierung des Motors

3.2.3.1.1. Für jede Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie ermittelt der Hersteller, nach wie vielen Betriebsstunden der nicht für den Straßenverkehr zugelassenen mobilen Maschine oder des Motors sich das Betriebsverhalten des Abgasnachbehandlungssystems stabilisiert hat. Auf Verlangen der Genehmigungsbehörde muss der Hersteller ihr die diesem Wert zugrunde liegenden Daten und Berechnungen vorlegen. Wahlweise kann der Hersteller den Motor oder die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine zwischen 60 und 125 Stunden lang oder über die entsprechende Zeit im Alterungszyklus betreiben, um das Abgasnachbehandlungssystem zu stabilisieren.

3.2.3.1.2. Das Ende der Stabilisierungsphase gemäß Nummer 3.2.3.1.1 gilt als Beginn des Betriebsakkumulationsprogramms.

3.2.3.2. Betriebsakkumulationsprüfung

3.2.3.2.1. Nach der Stabilisierung wird der Motor gemäß dem vom Hersteller gewählten und in Nummer 3.2.2 beschriebenen Betriebsakkumulationsprogramm betrieben. Der Motor wird regelmäßig zu den vom Hersteller und gegebenenfalls von der Genehmigungsbehörde gemäß Nummer 3.2.2.2 im Betriebsakkumulationsprogramm festgelegten Zeitpunkten den für die Motorenklasse geltenden NRTC und NRSC mit Warmstart oder LSI-NRTC und NRSC auf gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel gemäß Anhang IV der Verordnung (EU) 2016/1628 unterzogen.

Der Hersteller kann die Schadstoffemissionen vor Anbringung eines Abgasnachbehandlungssystems getrennt von den Schadstoffemissionen nach Anbringung eines Abgasnachbehandlungssystems messen.

Wurde nach Nummer 3.2.2.1.4 vereinbart, dass an jedem Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC oder NRSC) durchgeführt wird, muss der jeweils andere Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC oder NRSC) am Anfang und am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführt werden.

▼B

Gemäß Nummer 3.2.2.1.5 wird bei Motorenklassen oder Unterklassen, für die in Anhang IV der Verordnung (EU) 2016/1628 kein anzuwendender instationärer Zyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte festgelegt ist, an jedem Prüfpunkt nur der NRSC durchgeführt.

3.2.3.2.2. Während des Betriebsakkumulationsprogramms sind gemäß Nummer 3.4 Wartungsarbeiten am Motor durchzuführen.

3.2.3.2.3. Während des Betriebsakkumulationsprogramms können außerplanmäßige Wartungsarbeiten am Motor oder an der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine vorgenommen werden, wenn beispielsweise das normale Diagnosesystem des Herstellers eine Störung erkannt hat, die dem Bediener der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine einen Fehler angezeigt hätte.

3.2.4. Berichterstattung

3.2.4.1. Die Ergebnisse sämtlicher während des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführten Emissionsprüfungen (NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC und NRSC) sind der Genehmigungsbehörde zur Verfügung zu stellen. Wird eine Emissionsprüfung für ungültig erklärt, so muss der Hersteller begründen, warum die Prüfung für ungültig erklärt wurde. In einem solchen Fall ist innerhalb der nächsten 100 Stunden Betriebsakkumulation eine weitere Reihe von Emissionsprüfungen durchzuführen.

3.2.4.2. Der Hersteller hat alle Informationen über alle während des Betriebsakkumulationsprogramms am Motor durchgeführten Emissionsprüfungen und Wartungsarbeiten aufzuzeichnen. Diese Informationen sind der Genehmigungsbehörde zusammen mit den Ergebnissen der im Rahmen des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführten Emissionsprüfungen zu übergeben.

3.2.5. Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren

3.2.5.1. Wird ein Betriebsakkumulationsprogramm gemäß Nummer 3.2.2.1.2.1 oder Nummer 3.2.2.1.2.3 durchgeführt, so ist für jeden im NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC und NRSC gemessenen Schadstoff und für jeden Prüfpunkt des Betriebsakkumulationsprogramms auf der Grundlage der Prüfergebnisse eine lineare „Best-fit“-Regressionsanalyse vorzunehmen. Für jeden Schadstoff sind die Ergebnisse auf so viele Dezimalstellen anzugeben wie der für die entsprechende Motorenfamilie geltende Schadstoffgrenzwert vorsieht, sowie zusätzlich auf eine Dezimalstelle mehr.

Wurde gemäß Nummer 3.2.2.1.4 oder Nummer 3.2.2.1.5 für jeden Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC oder NRSC) durchgeführt, so ist die Regressionsanalyse nur anhand der Ergebnisse des an allen Prüfpunkten durchgeführten Prüfzyklus vorzunehmen.

Der Hersteller kann die vorherige Zustimmung der Genehmigungsbehörde zu einer nichtlinearen Regression beantragen.

3.2.5.2. Die Emissionswerte für jeden Schadstoff zu Beginn des Betriebsakkumulationsprogramms und am Ende der für den zu prüfenden Motor geltenden Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode sind zu berechnen:

a) entweder durch Extrapolation der Regressionsgleichung gemäß Nummer 3.2.5.1, wenn eine Betriebsakkumulationsprüfung nach Nummer 3.2.2.1.2.1 oder Nummer 3.2.2.1.2.3 durchgeführt wird, oder

b) durch direkte Messung, wenn eine Betriebsakkumulationsprüfung nach Nummer 3.2.2.1.2.2 durchgeführt wird.

▼B

Werden Emissionswerte für Motorenfamilien verwendet, die zur selben Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie gehören, jedoch unterschiedliche Emissions-Dauerhaltbarkeitsperioden aufweisen, dann sind für jede Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode die Emissionswerte am Endpunkt der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode durch Extrapolation oder Interpolation der Regressionsgleichung gemäß Nummer 3.2.5.1 neu zu berechnen.

3.2.5.3. Der Verschlechterungsfaktor für jeden Schadstoff wird definiert als das Verhältnis der geltenden Emissionswerte am Ende der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode und am Anfang des Betriebsakkumulationsprogramms (multiplikativer Verschlechterungsfaktor).

Der Hersteller kann die vorherige Zustimmung der Genehmigungsbehörde zu einem additiven Verschlechterungsfaktor für jeden Schadstoff beantragen. Der additive Verschlechterungsfaktor ist die Differenz zwischen den berechneten Emissionswerten am Ende der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode und am Anfang des Betriebsakkumulationsprogramms.

Ein Beispiel zur Bestimmung von Verschlechterungsfaktoren unter Verwendung der linearen Regression ist in Abbildung 3.1 für $NO_x$-Emissionen angegeben.

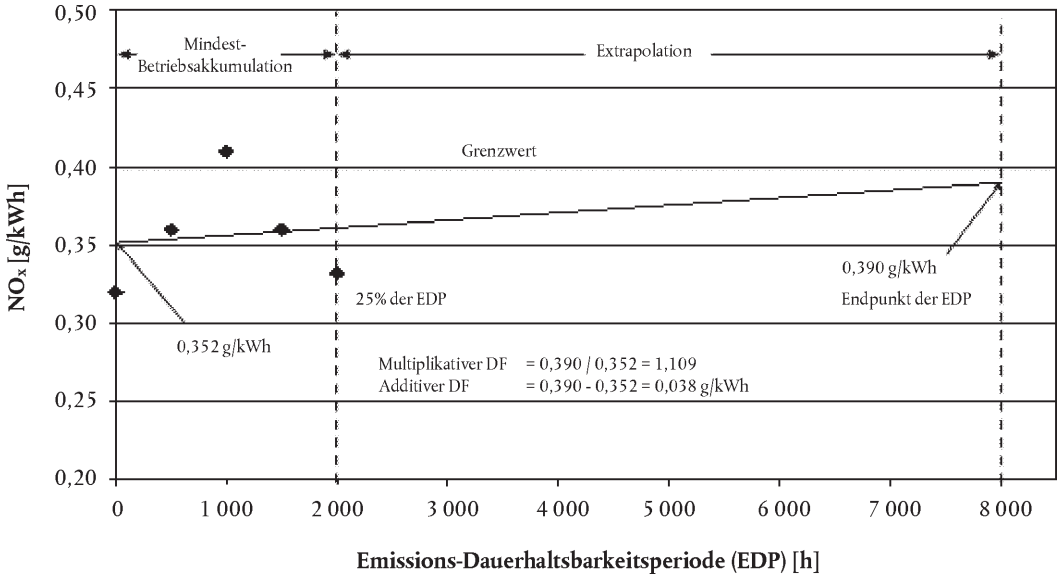
Die Vermischung von multiplikativen und additiven Verschlechterungsfaktoren innerhalb eines Schadstoffsatzes ist nicht zulässig.

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 Nummer 3.2.2.1.4 vereinbart, dass an jedem Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC oder NRSC) durchgeführt werden soll und der jeweils andere Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart, LSI-NRTC 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 3.1*

**Beispiel für die Bestimmung der Verschlechterungsfaktoren**



▼B

3.2.6. Vorgegebene Verschlechterungsfaktoren

3.2.6.1. Als Alternative zur Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren mittels eines Betriebsakkumulationsprogramms können Motorenhersteller folgende vorgegebene multiplikative Verschlechterungsfaktoren heranziehen:

*Tabelle 3.1*

**Vorgegebene Verschlechterungsfaktoren**

| Prüfzyklus | CO | HC | $NO_x$ | PM | PN |
|---|---|---|---|---|---|
| NRTC und LSI-NRTC | 1,3 | 1,3 | 1,15 | 1,05 | 1,0 |
| NRSC | 1,3 | 1,3 | 1,15 | 1,05 | 1,0 |

Vorgegebene additive Verschlechterungsfaktoren sind nicht anzugeben. Die vorgegebenen multiplikativen Verschlechterungsfaktoren sind nicht in additive Verschlechterungsfaktoren umzuwandeln.

Für PN kann entweder ein additiver Verschlechterungsfaktor von 0,0 oder ein multiplikativer Verschlechterungsfaktor von 1,0 in Verbindung mit den Ergebnissen der vorherigen Prüfung der Verschlechterungsfaktoren, bei der kein Wert für PN ermittelt werden konnte, verwendet werden, falls die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

a) die vorherige Prüfung der Verschlechterungsfaktoren wurde an der Motorentechnologie vorgenommen, die für die Einbeziehung in dieselbe Abgasnachbehandlungs-Motorenfamilie gemäß Nummer 3.1.2 geeignet gewesen wäre wie die Motorenfamilie, auf die die Verschlechterungsfaktoren angewandt werden sollen, und

b) die Prüfergebnisse wurden in einer früheren Typgenehmigung verwendet, die vor dem in Anhang III der Verordnung (EU) 2016/1628 angegebenen geltenden EU-Typgenehmigungsdatum liegt.

3.2.6.2. Werden vorgegebene Verschlechterungsfaktoren verwendet, muss der Hersteller der Genehmigungsbehörde einen eindeutigen Nachweis darüber vorlegen, dass bei den emissionsmindernden Bauteilen davon ausgegangen werden kann, dass die Emissions-Dauerhaltbarkeit den vorgegebenen Faktoren entspricht. Dieser Nachweis kann auf einer Bauartanalyse, Prüfungen oder einer Kombination aus beidem beruhen.

3.2.7. Anwendung von Verschlechterungsfaktoren

3.2.7.1. Die Motoren müssen nach Anwendung der Verschlechterungsfaktoren auf die Prüfergebnisse, die gemäß Anhang VI (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) × DF ≤ Emissionsgrenzwert

b) Additiv: (gewichtete Ergebnisse des Prüfzyklus für die spezifische Emission) + DF ≤ Emissionsgrenzwert

Die gewichteten Ergebnisse des Prüfzyklus können gegebenenfalls die Anpassung hinsichtlich einer sporadischen Regenerierung einschließen.

▼B

3.2.7.2. 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.

3.2.7.3. Der Hersteller kann die für eine Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie ermittelten Verschlechterungsfaktoren auf einen Motor übertragen, der nicht zu derselben Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie gehört. In diesem Fall muss er gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachweisen, dass für den Motor, für den die Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie ursprünglich geprüft wurde und den Motor, auf den die Verschlechterungsfaktoren übertragen werden, ähnliche technische Merkmale und Vorschriften für den Einbau in die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine gelten und dass die Emissionen dieses Motors ähnlich sind.

Werden Verschlechterungsfaktoren auf einen Motor mit einer unterschiedlichen Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode übertragen, dann sind die Verschlechterungsfaktoren für die geltende Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode durch Extrapolation oder Interpolation der Regressionsgleichung gemäß Nummer 3.2.5.1 neu zu berechnen.

3.2.7.4. Für jeden Prüfzyklus werden die Verschlechterungsfaktoren für jeden Schadstoff in dem in Anhang VI Anlage 1 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 enthaltenen Bericht für Prüfergebnisse eingetragen.

3.3. Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion

3.3.1. Die Übereinstimmung der Produktion hinsichtlich der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte wird gemäß Anhang II Abschnitt 6 überprüft.

3.3.2. Anlässlich der EU-Typgenehmigungsprüfung kann der Hersteller zugleich auch die Schadstoffemissionen vor Anbringung eines Abgasnachbehandlungssystems messen. Zu diesem Zweck kann der Hersteller für den Motor ohne Abgasnachbehandlungssystem und für das Abgasnachbehandlungssystem separate informelle Verschlechterungsfaktoren ausarbeiten, die er als Hilfe für die Prüfung am Ende der Fertigungsstraße verwenden kann.

3.3.3. Für die Zwecke der EU-Typgenehmigung werden nur die Verschlechterungsfaktoren in dem in Anhang VI Anlage 1 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 enthaltenen Prüfbericht eingetragen, die nach den Nummern 3.2.5 oder 3.2.6 ermittelt wurden.

3.4. Wartung

Für die Zwecke des Betriebsakkumulationsprogramms sind die Wartungsarbeiten gemäß der Anleitung des Herstellers für Service und Wartung durchzuführen.

3.4.1. Planmäßige emissionsrelevante Wartung

3.4.1.1. Planmäßige emissionsrelevante 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 Endnutzer der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine oder des Motors angegeben 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.

▼B

3.4.1.2. Jede während der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode in regelmäßigen Abständen erfolgende Einstellung, Demontage, Reinigung oder Auswechslung maßgeblicher emissionsrelevanter Bauteile mit dem Ziel, eine Funktionsstörung des Motors zu verhindern, darf nur in dem Umfang durchgeführt werden, der technisch erforderlich ist, um eine ordnungsgemäße Funktion der Emissionsminderungsanlage zu gewährleisten. Die Notwendigkeit des planmäßigen Austauschs — im Rahmen des Betriebsakkumulationsprogramms und nach einer gewissen Laufzeit des Motors — von maßgeblichen emissionsrelevanten Bauteilen außer routinemäßig ausgetauschten Teilen ist zu vermeiden. In diesem Zusammenhang sind Verbrauchsteile, die zum Zwecke des regelmäßigen Austauschs einer Wartung unterzogen werden oder Bauteile, die nach einer gewissen Motorlaufzeit gereinigt werden müssen, als routinemäßige ausgetauschte Bauteile einzuordnen.

3.4.1.3. Alle Anforderungen an eine planmäßige Wartung sind vor Erteilung einer EU-Typgenehmigung von der Genehmigungsbehörde zu genehmigen und sind in die Betriebsanleitung aufzunehmen. Die Genehmigungsbehörde darf die Genehmigung von Anforderungen an Wartungsarbeiten, die angemessen und technisch gerechtfertigt sind, u. a. die in Nummer 1.6.1.4 genannten, nicht versagen.

3.4.1.4. Der Motorenhersteller muss für die Betriebsakkumulationsprogramme Angaben zur Einstellung, Reinigung und (gegebenenfalls) Wartung sowie zum planmäßigen Austausch folgender Bestandteile machen:

— Filter und Kühler in der Abgasrückführung (AGR),

— gegebenenfalls Kurbelgehäuse-Entlüftungsventil,

— Einspritzdüsenspitzen (nur die Reinigung ist zulässig),

— Einspritzdüsen,

— Turbolader,

— elektronisches Motorsteuergerät mit Sensoren und Aktuatoren,

— Partikelnachbehandlungssystem (einschließlich dazugehöriger Bauteile),

— $NO_x$-Nachbehandlungssystem (einschließlich dazugehöriger Bauteile),

— Abgasrückführung (AGR), einschließlich aller dazugehöriger Regelventile und Röhren,

— alle anderen Abgasnachbehandlungssysteme.

3.4.1.5. Die planmäßigen maßgeblichen emissionsrelevanten Wartungsarbeiten sind nur durchzuführen, wenn sie während des Betriebs durchgeführt werden müssen und diese Anforderung dem Endnutzer des Motors oder der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine mitgeteilt wird.

3.4.2. Änderungen an der planmäßigen Wartung

Der Hersteller muss alle neuen planmäßigen Wartungsarbeiten, die er während des Betriebsakkumulationsprogramms durchführen und daher auch den Endnutzern von nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen oder Motoren empfehlen möchte, von

▼B

der Genehmigungsbehörde genehmigen lassen. Dem Antrag müssen Daten beiliegen, die die neuen planmäßigen Wartungsarbeiten und die Wartungsabstände begründen.

3.4.3. Nicht emissionsrelevante planmäßige Wartungsarbeiten

Nicht emissionsrelevante planmäßige Wartungsarbeiten, die angemessen und 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 dem Endnutzer vom Hersteller empfohlenen Wartungshäufigkeit an Motoren oder nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen im Rahmen des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführt werden (z. B. nicht in den Abständen, die für Betrieb unter erschwerten Bedingungen empfohlen werden).

3.5. Reparatur

3.5.1. Bauteile eines Motors, der für die Prüfung im Rahmen eines Betriebsakkumulationsprogramms ausgewählt wurde, dürfen nur repariert werden, wenn eine Fehlfunktion der Bauteile oder des Motors vorliegt. Reparaturen am Motor selbst, an der Emissionsminderungsanlage oder an der Kraftstoffanlage sind nur in dem Umfang zulässig, der in Nummer 3.5.2 festgelegt ist.

3.5.2. Wenn der Motor selbst, seine Emissionsminderungsanlage oder sein Kraftstoffregelsystem während des Betriebsakkumulationsprogramms eine Fehlfunktion aufweisen, so gilt die Betriebsakkumulation als ungültig und es muss eine neue Betriebsakkumulation mit einem neuen Motor eingeleitet werden.

Der vorstehende Absatz gilt nicht, wenn die Bauteile mit Fehlfunktion durch gleichwertige Bauteile ersetzt werden, die einer entsprechenden Zahl von Betriebsakkumulationsstunden unterzogen wurden.

4. **Motorenklassen und Unterklassen NRSh und NRS, außer NRS-v-2b und NRS-v-3**

4.1. Die geltende EDP-Kategorie und der entsprechende Verschlechterungsfaktor (DF) ist im Einklang mit dem vorliegenden Abschnitt 4 zu bestimmen.

4.2. Bei einer Motorenfamilie wird davon ausgegangen, dass sie die Grenzwerte für eine Motoren-Unterklasse einhält, wenn die Ergebnisse der Emissionsprüfung aller Motoren derselben Motorenfamilie nach Korrektur durch Multiplikation mit dem in Abschnitt 2 vorgesehenen DF unter den vorgeschriebenen Grenzwerten für diese Motoren-Unterklasse liegen oder gleich diesen Werten sind. Liegt jedoch ein bzw. liegen mehrere Ergebnisse von Emissionsprüfungen eines oder mehrerer Motoren derselben Motorenfamilie nach Korrektur durch Multiplikation mit dem in Abschnitt 2 vorgesehenen DF über dem jeweiligen Emissionsgrenzwert für diese Motoren-Unterklasse, so wird davon ausgegangen. dass die Motorenfamilie die Grenzwerte dieser Motoren-Unterklasse nicht einhält.

4.3. Die Verschlechterungsfaktoren werden wie folgt ermittelt:

4.3.1. An mindestens einem ausgewählten Prüfmotor, der die Konfiguration repräsentiert, die voraussichtlich die HC + $NO_x$-Emissionsgrenzwerte übersteigt, und dessen Bauweise der laufenden Produktion entspricht, ist nach der Anzahl von Stunden, die den stabilisierten Emissionen entspricht, das (vollständige) in Anhang VI beschriebene Emissionsprüfverfahren durchzuführen.

▼B

4.3.2. Wird mehr als ein Motor geprüft, sind die Ergebnisse als der Mittelwert der Ergebnisse aller geprüften Motoren zu berechnen, gerundet auf dieselbe Anzahl Dezimalstellen wie beim geltenden Grenzwert, gerundet auf eine zusätzliche Dezimalstelle.

4.3.3. Nach der Alterung des Motors wird diese Emissionsprüfung erneut durchgeführt. Das Alterungsverfahren sollte so gestaltet sein, dass der Hersteller die während der EDP des Motors zu erwartende Verschlechterung der Emissionen des in Betrieb befindlichen Motors vorhersagen kann; dabei sind die Art des Verschleißes und sonstige unter typischer Nutzung durch den Verbraucher zu erwartende Verschlechterungsfaktoren, die das Emissionsverhalten beeinträchtigen könnten, zu berücksichtigen. Wird mehr als ein Motor geprüft, sind die Ergebnisse als der Mittelwert der Ergebnisse aller geprüften Motoren zu berechnen, gerundet auf dieselbe Anzahl Dezimalstellen wie beim geltenden Grenzwert, gerundet auf eine zusätzliche Dezimalstelle.

4.3.4. Die am Ende der EDP anfallenden Emissionen (durchschnittliche Emissionen, falls zutreffend) sind für jeden reglementierten Schadstoff durch die stabilisierten Emissionen (durchschnittliche Emissionen, falls zutreffend) zu dividieren und auf zwei Stellen zu runden. Die sich daraus ergebende Zahl ist der Verschlechterungsfaktor, es sei denn, sie beträgt weniger als 1,00; in diesem Fall ist der Verschlechterungsfaktor 1,00.

4.3.5. Der Hersteller kann zusätzliche Emissionsprüfpunkte zwischen dem Prüfpunkt der stabilisierten Emission und dem Ende der EDP einplanen. Sind Zwischenprüfungen geplant, müssen die Prüfpunkte gleichmäßig über die EDP (± 2 Stunden) verteilt sein, und einer dieser Prüfpunkte muss in der Mitte der vollen EDP (± 2 Stunden) liegen.

4.3.6. Für jeden Schadstoff HC + $NO_x$ und CO ist zwischen den Datenpunkten eine gerade Linie zu ziehen, wobei die erste Prüfung zum Zeitpunkt Null eingezeichnet und die Methode der kleinsten Fehlerquadrate angewendet wird. Der Verschlechterungsfaktor ergibt sich aus den berechneten Emissionen am Ende der Dauerhaltbarkeitsperiode, geteilt durch die berechneten Emissionen zum Zeitpunkt Null.

Für den entsprechenden Prüfzyklus werden die Verschlechterungsfaktoren für jeden Schadstoff in dem in Anhang VII Anlage 1 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 enthaltenen Bericht für Prüfergebnisse eingetragen.

4.3.7. Die berechneten Verschlechterungsfaktoren können andere Motorenfamilien umfassen als die bei der Berechnung zugrunde gelegten, sofern der Hersteller vor der EU-Typgenehmigung eine für die Genehmigungsbehörde akzeptable Begründung dafür vorlegt, dass die betreffenden Motorenfamilien aufgrund der verwendeten Konstruktionsweise und Technologie aller Voraussicht nach ähnliche Emissions-Verschlechterungsmerkmale aufweisen.

Nachstehend eine nicht erschöpfende Liste der Zuordnung nach Konstruktionsweise und Technologie:

— Herkömmliche Zweitaktmotoren ohne Abgasnachbehandlung,

— Herkömmliche Zweitaktmotoren mit einem Keramikkatalysator mit dem gleichen aktiven Material und Füllstoff und der gleichen Anzahl von Zellen je $cm^2$,

— Zweitaktmotoren mit einem in Schichten angeordneten Spülsystem,

▼B

— Zweitaktmotoren mit einem in Schichten angeordneten Spülsystem mit einem Keramikkatalysator mit dem gleichen aktiven Material und Füllstoff und der gleichen Anzahl von Zellen je $cm^2$,

— Viertaktmotoren mit Katalysator mit der gleichen Ventiltechnik und einem identischen Schmiersystem,

— Viertaktmotoren ohne Katalysator mit der gleichen Ventiltechnik und einem identischen Schmiersystem.

4.4. EDP-Kategorien

4.4.1. Bei den in Anhang V Tabelle V-3 oder V-4 der Verordnung (EU) 2016/1628 aufgeführten Motorenklassen, für die es alternative EDP-Werte gibt, müssen die Hersteller zum Zeitpunkt der EU-Typgenehmigung für jede Motorenfamilie die geltende EDP-Kategorie angeben. Diese Kategorie ist die Kategorie in Tabelle 3.2, die der voraussichtlichen Nutzlebensdauer des Geräts, für das die Motoren nach Angabe des Motorenherstellers bestimmt sind, am nächsten kommt. Die Hersteller müssen für jede Motorfamilie die Daten, durch die sich ihre Wahl der EDP-Kategorie untermauern lässt, aufbewahren. Diese Daten sind der Genehmigungsbehörde auf Anfrage vorzulegen.

*Tabelle 3.2*

**EDP-Kategorien**

| EDP-Kategorie | Anwendung des Motors |
|---|---|
| Kat. 1 | Verbraucherprodukte |
| Kat. 2 | Halbgewerbliche Produkte |
| Kat. 3 | Gewerbliche Produkte |

4.4.2. Der Hersteller muss der Genehmigungsbehörde gegenüber glaubhaft nachweisen, dass die angegebene EDP-Kategorie angemessen ist. Die Daten zur Untermauerung der Wahl der EDP-Kategorie für eine bestimmte Motorenfamilie durch den Hersteller können unter anderem die folgenden Punkte umfassen:

— Übersichten über die Lebensdauer der Geräte, in die die betreffenden Motoren eingebaut sind;

— technische Gutachten zu im Betrieb gealterten Motoren, um festzustellen, wann sich die Leistung des Motors so weit verschlechtert, dass die eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit und/oder Zuverlässigkeit eine Überholung oder den Austausch des Motors erfordert;

— Garantieerklärungen und Garantiefristen;

— Marketing-Unterlagen betreffend die Lebensdauer des Motors;

— von Nutzern gemeldete Störfälle;

— technische Gutachten zur Dauerhaltbarkeit (in Stunden) bestimmter Motortechnologien, -werkstoffe und -konstruktionen.

▼B

*ANHANG IV*

**Anforderungen in Bezug auf Emissionsminderungsstrategien, Maßnahmen zur Minderung der $NO_x$-Emissionen und Maßnahmen zur Minderung der Partikelemissionen**

1. **Begriffsbestimmungen, Abkürzungen und allgemeine Anforderungen**

1.1. Für die Zwecke dieses Anhangs bezeichnet der Begriff bzw. die Abkürzung:

(1) „Diagnose-Fehlercode (DTC)“ die numerische oder alphanumerische Kennung zur Kennzeichnung oder Etikettierung einer NCM und PCM;

(2) „bestätigter und aktiver DTC“ einen DTC, der gespeichert wird, während das NCD- und/oder PCD-System feststellt, dass eine Funktionsstörung vorliegt;

(3) „NCD-Motorenfamilie“ eine herstellereigene Einteilung von Motoren, die dieselben Methoden zur Überwachung/Erkennung von NCM verwenden;

(4) „Diagnosesystem des $NO_x$-Emissionsminderungssystems (NCD)“ ein zum Motor gehörendes System mit der Fähigkeit,

a) eine Funktionsstörung des $NO_X$-Emissionsminderungssystems zu erkennen;

b) zur Bestimmung der wahrscheinlichen Ursache von Funktionsstörungen des $NO_x$-Emissionsminderungssystems anhand von im Bordrechner gespeicherten Daten und/oder durch Auslesen dieser Daten in ein Gerät außerhalb des Fahrzeugs;

(5) „Funktionsstörung des $NO_x$-Emissionsminderungssystems (NCM)“ einen Versuch eines unbefugten Eingriffs in das $NO_x$-Emissionsminderungssystem 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;

(6) „Diagnosesystem des Partikelminderungssystems (PCD)“ ein Motorsystem, das zu Folgendem dient:

a) eine Funktionsstörung des Partikelminderungssystems zu erkennen;

b) die wahrscheinliche Ursache von Funktionsstörungen des Partikelminderungssystems anhand von im Bordrechner gespeicherten Daten und/oder durch Auslesen dieser Daten in ein Gerät außerhalb des Fahrzeugs zu bestimmen;

(7) „Funktionsstörung des Partikelminderungssystems (PCM)“ einen Versuch eines unbefugten Eingriffs in das Partikelnachbehandlungssystem eines Motors oder eine das Partikelnachbehandlungssystem beeinträchtigende und möglicherweise durch einen unbefugten Eingriff verursachte Funktionsstörung, die im Sinne dieser Verordnung nach ihrer Entdeckung die Ausgabe einer Warnung erfordert;

(8) „PCD-Motorenfamilie“ eine herstellereigene Einteilung von Motoren, die dieselben Methoden zur Überwachung/Erkennung von PCM verwenden;

(9) „Lesegerät“ ein externes Prüfgerät zur Kommunikation von außen mit dem NCD- und/oder PCD-System.

▼B

1.2. Umgebungstemperatur

Ungeachtet Artikel 2 Absatz 7, in dem auf Umgebungstemperatur in Verbindung mit anderen Umgebungen als der Laborumgebung Bezug genommen wird, gelten folgende Bestimmungen:

1.2.1. Bei einem an einem Prüfstand angebrachten Motor muss die Umgebungstemperatur die Temperatur der dem Motor zugeleiteten Verbrennungsluft sein, vor jedem Teil des zu prüfenden Motors.

1.2.2. Bei einem in eine nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine eingebauten Motor muss die Umgebungstemperatur die Lufttemperatur unmittelbar außerhalb des Bereichs der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine sein.

2. **Technische Anforderungen in Bezug auf Emissionsminderungsstrategien**

2.1. Dieser Abschnitt 2 gilt für elektronisch gesteuerte Motoren der Klassen NRE, NRG, IWP, IWA, RLL und RLR, die die Emissionsgrenzwerte der „Stufe V“ gemäß Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 einhalten und die sowohl die Menge als auch den Zeitpunkt der Einspritzung des Kraftstoffs elektronisch steuern oder die die Emissionsminderungsanlage, die zur Verringerung von $NO_x$ dient, mit einer elektronischen Steuerung einschalten, ausschalten oder modulieren:

2.2. Anforderungen an die Standard-Emissionsminderungsstrategie

2.2.1. Die Standard-Emissionsminderungsstrategie muss so gestaltet sein, dass der Motor im Normalbetrieb die Anforderungen dieser Verordnung erfüllt. Der Normalbetrieb beschränkt sich nicht auf die in Nummer 2.4 aufgeführten Bedingungen.

2.2.2. Standard-Emissionsminderungsstrategien sind u. a. Kennfelder oder Algorithmen zur Steuerung

a) des Zeitpunkts der Kraftstoffeinspritzung oder der Zündung (Zündzeitpunkt)

b) Abgasrückführung (AGR)

c) der Dosierung für das Reagens des SCR-Katalysators.

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

2.3. Anforderungen an die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie

2.3.1. Eine zusätzliche Emissionsminderungsstrategie kann von einem Motor oder einer nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine aktiviert werden, vorausgesetzt, dass die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie:

2.3.1.1. die Wirkung der Emissionsminderungsanlage nicht dauerhaft verringert;

2.3.1.2. nur außerhalb der in den Nummern 2.4.1, 2.4.2 oder 2.4.3 festgelegten Bedingungen, für die in Nummer 2.3.5 festgelegten Zwecke und nur so lange, wie für diese Zwecke erforderlich, betrieben wird, außer in den nach den Nummern 2.3.1.3, 2.3.2 und 2.3.4 zulässigen Fällen;

▼B

2.3.1.3. unter den in den Nummern 2.4.1, 2.4.2 bzw. 2.4.3 beschriebenen Bedingungen nur in Ausnahmefällen aktiviert wird, wenn nachgewiesen wird, dass dies für die in Nummer 2.3.5 festgelegten Zwecke erforderlich ist und von der Genehmigungsbehörde genehmigt wurde, und sie nur so lange wie für diese Zwecke nötig aktiviert bleibt;

2.3.1.4. ein Leistungsniveau der Emissionsminderungsanlage gewährleistet, das möglichst nahe an dem Niveau der Standard-Emissionsminderungsstrategie liegt.

2.3.2. Wird die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie während der EU-Typgenehmigungsprüfung aktiviert, so wird die Aktivierung nicht auf die außerhalb der in Nummer 2.4 aufgeführten Bedingungen beschränkt, und der Zweck ist nicht auf die in Nummer 2.3.5 aufgeführten Kriterien begrenzt.

2.3.3. Wird die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie während der EU-Typgenehmigungsprüfung nicht aktiviert, so muss nachgewiesen werden, dass sie nur so lange aktiv ist, wie dies für die in Nummer 2.3.5 genannten Zwecke erforderlich ist.

2.3.4. Betrieb bei niedriger Temperatur

Eine zusätzliche Emissionsminderungsstrategie kann ungeachtet der Bedingungen in Nummer 2.4 bei einem Motor aktiviert werden, der mit Abgasrückführung (AGR) ausgestattet ist, wenn die Umgebungstemperatur weniger als 275 K (2 °C) beträgt und eines der beiden folgenden Kriterien erfüllt ist:

a) die Temperatur im Ansaugkrümmer ist kleiner oder gleich der durch folgende Gleichung festgelegten Temperatur: $IMT_c = P_{IM} / 15{,}75 + 304{,}4$; dabei gilt: $IMT_c$ ist die berechnete Temperatur des Ansaugkrümmers in K und $P_{IM}$ ist der absolute Druck im Ansaugkrümmer in kPa;

b) die Motorkühlmitteltemperatur ist kleiner oder gleich der Temperatur, die mittels folgender Gleichung berechnet wird: $ECT_c = P_{IM} / 14{,}004 + 325{,}8$, wobei $ECT_c$ die berechnete Motorkühlmitteltemperatur in K und $P_{IM}$ der absolute Ansaugkrümmerdruck in kPa ist.

2.3.5. Außer in den nach Nummer 2.3.2 zulässigen Fällen darf eine zusätzliche Emissionsminderungsstrategie nur zu folgenden Zwecken aktiviert werden:

a) durch fahrzeuginterne Signale zum Schutz des Motors (einschließlich der Einrichtungen zur Steuerung des Luftstroms) oder der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine, in die 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.

▼B

2.3.6. Der Hersteller muss dem technischen Dienst bei der EU-Typgenehmigungsprüfung nachweisen, dass der Betrieb aller etwaigen zusätzlichen Emissionsminderungsstrategien den Anforderungen dieses Abschnitts entspricht. Dieser Nachweis besteht in einer Auswertung der in Nummer 2.6 genannten Dokumentation.

2.3.7. Der Betrieb von zusätzlichen Emissionsminderungsstrategien, die nicht den Nummern 2.3.1 bis 2.3.5 entsprechen, ist untersagt.

2.4. Kontrollbedingungen

In den Kontrollbedingungen wird ein Bereich für Höhe, Umgebungstemperatur und Motorkühlmittel festgelegt, anhand dessen bestimmt wird, ob zusätzliche Emissionsminderungsstrategien generell oder nur ausnahmsweise gemäß Nummer 2.3 aktiviert werden dürfen.

Zu den Kontrollbedingungen gehört der Luftdruck, der als absoluter atmosphärischer statistischer Druck (nass oder trocken) gemessen wird („Luftdruck“).

2.4.1. Kontrollbedingungen für Motoren der Klassen IWP und IWA:

a) Höhe nicht mehr als 500 m über NN (oder Luftdruck nicht unter 95,5 kPa);

b) Umgebungstemperatur zwischen 275 K und 303 K (2 °C bis 30 °C);

c) Motorkühlmitteltemperatur über 343 K (70 °C).

2.4.2. Kontrollbedingungen für Motoren der Klasse RLL:

a) Höhe nicht mehr als 1 000 m über NN (oder Luftdruck nicht unter 90 kPa);

b) Umgebungstemperatur zwischen 275 K und 303 K (2 °C bis 30 °C);

c) Motorkühlmitteltemperatur über 343 K (70 °C).

2.4.3. Kontrollbedingungen für Motoren der Klassen NRE, NRG und RLR:

a) Luftdruck von mindestens 82,5 kPa;

b) Umgebungstemperatur innerhalb des folgenden Bereichs:

— mindestens 266 K (– 7 °C);

— kleiner oder gleich der Temperatur, die mit folgender Formel für den spezifizierten Luftdruck berechnet wird: $T_c = – 0{,}4514 \times (101{,}3 – P_b) + 311$; dabei ist $T_c$ die berechnete Umgebungslufttemperatur in K und $P_b$ der Luftdruck in kPa;

c) die Motorkühlmitteltemperatur über 343 K (70 °C).

2.5. Wenn der Sensor der Ansauglufttemperatur benutzt wird, um die Umgebungslufttemperatur zu schätzen, muss die nominale Abweichung zwischen den beiden Messpunkten für einen Motortyp oder eine Motorenfamilie bewertet werden. Die gemessene Ansauglufttemperatur muss zur Schätzung der Umgebungstemperatur für einen Einbau, bei dem der angegebene Motortyp oder die angegebene Motorenfamilie verwendet wird, um einen Betrag angepasst werden, der der nominalen Abweichung entspricht.

▼B

Die Bewertung der Abweichung erfolgt nach bestem fachlichem Ermessen auf der Grundlage von technischen Elementen (Berechnungen, Simulationen, Versuchsergebnisse, Daten usw.), darunter:

a) die typischen Klassen von nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen, in die der Motortyp oder die Motorenfamilie eingebaut werden soll; und

b) die Einbauanweisungen des Herstellers an den OEM.

Auf Verlangen der Genehmigungsbehörde muss dieser eine Kopie des Bewertungsberichts zur Verfügung gestellt werden.

2.6. Dokumentationsanforderungen

Der Hersteller muss die Dokumentationsanforderungen gemäß Anhang I Teil A Nummer 1.4. der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 und Anlage 2 zu diesem Anhang erfüllen.

3. **Technische Anforderungen an Einrichtungen zur Minderung der $NO_x$-Emissionen**

3.1. Dieser Abschnitt 3 gilt für elektronisch gesteuerte Motoren der Klassen NRE, NRG, IWP, IWA, RLL und RLR, die die Emissionsgrenzwerte der „Stufe V“ gemäß Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 einhalten und die sowohl die Menge als auch den Zeitpunkt der Einspritzung des Kraftstoffs elektronisch steuern oder die die Emissionsminderungsanlage, die zur Verringerung von $NO_x$ dient, mit einer elektronischen Steuerung einschalten, ausschalten oder modulieren:

3.2. Der Hersteller muss mithilfe der Unterlagen in Anhang I der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 vollständige Angaben über die Funktions- und Betriebsmerkmale der Einrichtungen zur Minderung der $NO_x$-Emissionen machen.

3.3. Die Strategie zur Minderung der $NO_x$-Emissionen muss unter allen auf dem Gebiet der Europäischen Union regelmäßig anzutreffenden Umgebungsbedingungen und insbesondere bei niedrigen Umgebungstemperaturen funktionieren.

3.4. Der Hersteller muss nachweisen, dass die Ammoniakemission während des für das EU-Typgenehmigungsverfahren jeweils vorgeschriebenen Emissionsprüfzyklus bei Verwendung eines Reagens für Motoren der Klasse RLL einen Mittelwert von 25 ppm und für Motoren aller übrigen geltenden Klassen einen Mittelwert von 10 ppm nicht überschreitet.

3.5. 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.

3.6. Zusätzlich zu den Anforderungen in Nummer 3.2 bis 3.5 gelten folgende Anforderungen:

a) für Motoren der Klasse NRG die technischen Anforderungen nach Anlage 1;

b) für Motoren der Klasse NRE:

i) die Anforderungen nach Anlage 2, wenn der Motor gemäß Artikel 4 Absatz 1 Nummer 1b der Verordnung (EU) 2016/1628 ausschließlich für den Einsatz anstelle von Stufe-V-Motoren der Klassen IWP und IWA vorgesehen ist; oder

▼B

ii) die Anforderungen nach Anlage 1 für Motoren, die nicht unter Ziffer i fallen;

c) für Motoren der Klassen IWP, IWA und RLR die technischen Anforderungen nach Anlage 2;

d) für Motoren der Klasse RLL die technischen Anforderungen nach Anlage 3.

4. **Technische Anforderungen an Einrichtungen zur Minderung der Emissionen luftverunreinigender Partikel**

4.1. Dieser Abschnitt gilt für Motoren, die zu Unterklassen gehören, die gemäß den in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 aufgeführten Emissionsgrenzwerten der „Stufe V“ PN-Grenzwerten unterliegen und mit einem Partikelnachbehandlungssystem ausgerüstet sind. In Fällen, in denen die Einrichtung zur Begrenzung der $NO_x$-Emissionen und das Partikelminderungssystem die gleichen physikalischen Komponenten aufweisen (z. B. das gleiche Substrat (SCR auf Filter), den gleichen Abgastemperatursensor), gelten die Anforderungen nach diesem Abschnitt nicht für Bauteile oder Funktionsstörungen, wenn die Genehmigungsbehörde nach Erwägung einer begründeten Bewertung durch den Hersteller zu dem Schluss kommt, dass eine Funktionsstörung des Partikelminderungssystems im Bereich dieses Abschnitts zu einer entsprechenden Funktionsstörung der $NO_x$-Minderung im Bereich von Abschnitt 3 führen würde.

4.2. Die technischen Anforderungen in Bezug auf Einrichtungen zur Minderung der Emissionen luftverunreinigender Partikel werden im Einzelnen in Anlage 4 angegeben.

▼B

*Anlage 1*

**Zusätzliche technische Anforderungen an Einrichtungen zur Minderung der $NO_x$-Emissionen für Motoren der Klassen NRE und NRG, einschließlich des Nachweisverfahrens für diese Strategien**

1. **Einleitung**

In diesem Anhang sind die zusätzlichen Anforderungen beschrieben, durch die der ordnungsgemäße Betrieb 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. Voraussetzung für die EU-Typgenehmigung ist, dass die einschlägigen Bestimmungen über die Unterweisung des Bedienpersonals, die Einbauunterlagen, das System zur Warnung des Bedienpersonals, das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal und den Frostschutz für das Reagens in diesem Anhang angewendet werden

2. **Allgemeine Vorschriften**

Der Motor muss mit einem Diagnosesystem für $NO_x$-Emissionen (NCD) ausgerüstet sein, das geeignet ist, Funktionsstörungen des $NO_x$-Emissionsminderungssystems (NCM) zu erkennen. Jeder von diesem Abschnitt 2 erfasste Motor muss so konstruiert, gefertigt und eingebaut sein, dass er diese Anforderungen während der normalen Motorlebensdauer unter normalen Betriebsbedingungen erfüllt. Dabei ist es akzeptabel, wenn bei Motoren, die über die Nutzlebensdauer gemäß Anhang V der Verordnung (EU) 2016/1628 hinaus betrieben werden, die Leistung und Empfindlichkeit des Diagnosesystems für $NO_x$-Emissionen (NCD) gemindert ist, sodass die in diesem Anhang festgelegten Grenzwerte überschritten werden können, bevor das Warn- und/oder Aufforderungssystem aktiviert wird/werden.

2.1. Vorgeschriebene Angaben

2.1.1. Arbeitet die Emissionsminderungsanlage mit einem Reagens, so müssen die Art des Reagens, Informationen zur Konzentration in Lösung, die Betriebstemperatur, Verweise auf internationale Normen für die Zusammensetzung und Qualität und andere Eigenschaften dieses Reagens vom Hersteller in Anlage I Teil B der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 angegeben werden.

2.1.2. Der Genehmigungsbehörde sind zum Zeitpunkt des Antrags auf EU-Typgenehmigung ausführliche schriftliche Angaben über die Funktions- und Betriebsmerkmale des Warnsystems für das Bedienpersonal gemäß Abschnitt 4 und des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal gemäß Abschnitt 5 zu übermitteln.

2.1.3. Der Hersteller muss dem OEM Unterlagen zur Verfügung stellen mit Anweisungen, wie der Motor auf eine Weise in die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine einzubauen ist, dass der Motor, seine Emissionsminderungsanlage und die Bauteile der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine entsprechend den Anforderungen dieser Anlage arbeiten. Diese Unterlagen müssen die detaillierten technischen Anforderungen an den Motor (Software, Hardware und Kommunikationssysteme) umfassen, die für den korrekten Einbau des Motors in die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine erforderlich sind.

2.2. Betriebsbedingungen

2.2.1. Das Diagnosesystem zur $NO_x$-Minderung muss unter folgenden Bedingungen arbeiten:

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).

▼B

Dieser Abschnitt 2 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, bei 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 Nummer 2.3.2 entsprechen. Ein nicht beheiztes System muss den Anforderungen in Nummer 2.3.3 entsprechen.

2.3.1.1. Die Verwendung eines nicht beheizten Reagensbehälters und Dosiersystems ist in den schriftlichen Anweisungen an den Endnutzer der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine 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 Abschnitts 2 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 Nummer 2.3.2.2.1 angegebenen Abkühlzeit ist die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile 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 Nummer 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 nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine oder von Bauteilen, die repräsentativ für die an der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen 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 Abschnitt 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 Nummer 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.

▼B

2.4. Diagnoseanforderungen

2.4.1 Das Diagnosesystem für $NO_x$-Emissionen (NCD) muss geeignet sein, mithilfe von rechnergespeicherten Diagnosefehlercodes (DTC) die 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 Abschnitt 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 nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine erfassen), kann die Genehmigungsbehörde 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 nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen 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 umprogrammierbaren 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 fachlichem Ermessen und im Einvernehmen mit der Genehmigungsbehörde bestimmt.

Motoren, die nicht derselben Motorenfamilie angehören, können dennoch derselben NCD-Motorenfamilie angehören.

▼B

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 Motoren übereinstimmen müssen.

Motoren können ein und derselben NCD-Motorenfamilie zugeordnet werden, wenn sie in den nachfolgend aufgeführten grundlegenden Merkmalen übereinstimmen:

a) Emissionsminderungsanlagen,

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 Genehmigungsbehörde nachzuweisen.

Der Hersteller kann die Genehmigung leichter Abweichungen in den Verfahren zur Überwachung/Diagnose des NCD-Systems durch die Genehmigungsbehörde 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, Abgasstrom usw.) oder wenn die Ähnlichkeiten nach bestem fachlichem Ermessen festgestellt wurden.

3. **Wartungsanforderungen**

3.1. Der Hersteller muss allen Endnutzern neuer Motoren oder neuer Maschinen schriftliche Anweisungen über die Emissionsminderungsanlage und ihre ordnungsgemäße Funktion gemäß Anhang XV zur Verfügung stellen oder zur Verfügung stellen lassen.

4. **Warnsystem für das Bedienpersonal**

4.1. Die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile 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 Abschnitt 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 Abschnitt 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 nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine wieder starten lässt.

▼B

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 Nummern 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 Abschnitt 11 beschrieben.

4.9. Ein Hersteller, der einen Antrag auf EU-Typgenehmigung nach dieser Richtlinie stellt, muss die Funktionsweise des Warnsystems für das Bedienpersonal gemäß Abschnitt 10 nachweisen.

5. **Aufforderungssystem für das Bedienpersonal**

5.1. Der Motor 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 Betriebs der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine) folgt;

5.1.2. ein einstufiges System der starken Aufforderung (effektive Deaktivierung des Betriebs der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine), welches unter den Bedingungen einer schwachen Aufforderung gemäß den Nummern 6.3.1, 7.3.1, 8.4.1 und 9.4.1 aktiviert wird.

Beschließt der Hersteller, den Motor abzuschalten, um die Anforderungen hinsichtlich des einstufigen Systems der starken Aufforderung zu erfüllen, so kann die Aufforderung für den Reagensfüllstand nach Wahl des Herstellers gemäß den Bedingungen in Nummer 6.3.2 anstatt der Bedingungen in Nummer 6.3.1 aktiviert werden.

5.2. Der Motor kann mit einer Funktion ausgestattet werden, mit der das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal deaktiviert werden kann, sofern es den Anforderungen nach Nummer 5.2.1 entspricht.

5.2.1 Der Motor kann 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 vorübergehend deaktiviert werden kann.

5.2.1.1 Alle folgenden Bedingungen gelten, wenn ein Motor mit einer Funktion zur vorübergehenden Deaktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal ausgestattet ist:

a) Die maximale Betriebsdauer, für die das Aufforderungssystem vom Bedienpersonal deaktiviert werden kann, beträgt 120 Stunden;

▼B

b) Die Aktivierungsmethode ist so zu gestalten, dass eine versehentliche Betätigung durch das Erfordernis einer zweifach auszuführenden willentlichen Handlung verhindert wird und mindestens durch den Warnhinweis „NUR FÜR DEN NOTEINSATZ“ eindeutig gekennzeichnet ist.

c) Die Deaktivierung wird nach Ablauf der 120 Stunden automatisch aufgehoben, und es muss eine Funktion vorhanden sein, mit der das Betriebspersonal die Deaktivierung manuell aufheben kann, wenn der Noteinsatz vorbei ist.

d) Nach Ablauf der 120 Betriebsstunden darf das Aufforderungssystem nicht mehr deaktiviert werden können, außer wenn die Funktion zur Deaktivierung durch Eingabe des vorübergehenden Sicherheitscodes eines Herstellers oder Neukonfigurierung der ECU des Motors durch einen qualifizierten Wartungstechniker oder ein entsprechendes, für jeden Motor einzigartiges Sicherheitsmerkmal zurückgesetzt wurde;

e) Die Gesamtzahl und -dauer der Betätigungen der Deaktivierung müssen in einem nichtflüchtigen Speicher oder Zählern so gespeichert werden, dass die Information nicht versehentlich gelöscht werden kann. Es muss den nationalen Kontrollbehörden möglich sein, diese Aufzeichnungen mit einem Lesegerät zu lesen.

f) Der Hersteller bewahrt eine Aufzeichnung jedes Antrags auf, die Funktion zur vorübergehenden Deaktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal zurückzusetzen und macht der Kommission oder nationalen Behörden diese Aufzeichnungen auf Verlangen zugänglich.

5.3. Schwache Aufforderung

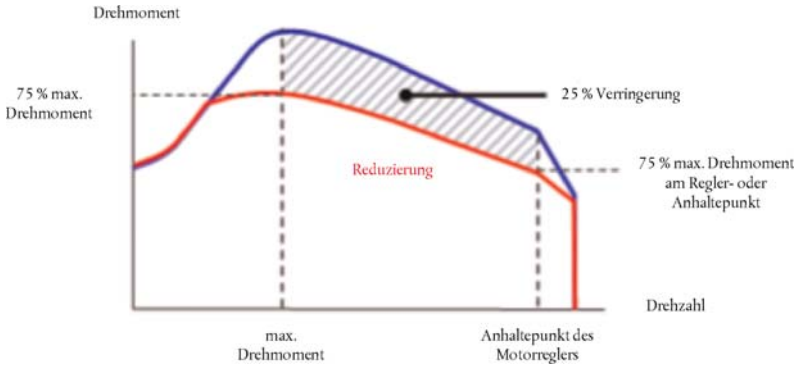
5.3.1. Die schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine der in den Nummern 6.3.1, 7.3.1, 8.4.1 und 9.4.1 genannten Bedingungen eingetreten ist.

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 4.1 dargestellt, reduzieren. Die Drehmomentreduzierung muss mindestens 1 % pro Minute betragen.

5.3.3. Andere Möglichkeiten der Aufforderung dürfen angewendet werden, wenn gegenüber der Genehmigungsbehörde nachgewiesen wurde, dass die gleichen oder strengere Anforderungen erfüllt werden.

*Abbildung 4.1*

**Schema der Drehmomentreduzierung der schwachen Aufforderung**



▼B

5.4. Starke Aufforderung

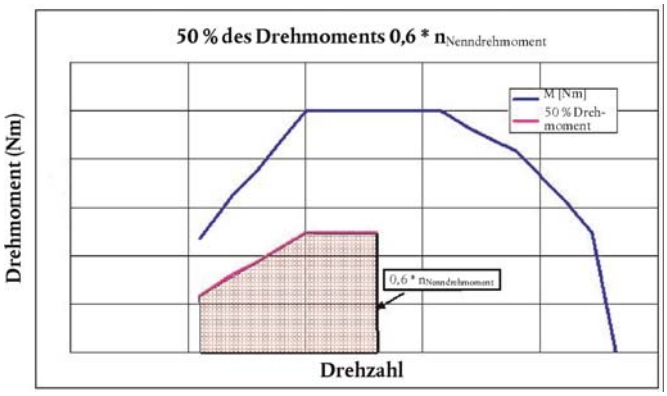
5.4.1. Die starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine der in den Nummern 2.3.3.2, 6.3.2, 7.3.2, 8.4.2 und 9.4.2 genannten Bedingungen eingetreten ist.

5.4.2. Die starke Aufforderung muss die Funktion der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine bis zu einem Niveau reduzieren, das sich so erschwerend auswirkt, dass das Bedienpersonal die in den Abschnitten 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 4.1 um mindestens 1 % pro Minute bis auf höchstens 50 % des Höchstdrehmoments zu reduzieren; bei Motoren mit variabler Drehzahl ist die Motordrehzahl innerhalb des gleichen Zeitraums wie die Drehmomentreduzierung gemäß Abbildung 4.2 allmählich auf höchstens 60 % der Nenndrehzahl zu reduzieren.

*Abbildung 4.2*

**Schema der Drehmomentreduzierung der starken Aufforderung**




5.4.2.2. Andere Möglichkeiten der Aufforderung dürfen angewendet werden, wenn gegenüber der Genehmigungsbehörde nachgewiesen wurde, dass die gleichen oder strengere Anforderungen erfüllt werden.

5.5. Damit Sicherheitsaspekten Rechnung getragen und eine Selbstreparaturdiagnose ermöglicht wird, ist zum Erreichen der vollen Motorleistung die Verwendung einer Übersteuerungsfunktion in Bezug auf das Aufforderungssystem zulässig, vorausgesetzt,

a) sie ist nicht länger als 30 Minuten aktiviert und

b) 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 Abschnitt 11 ausführlich beschrieben.

5.8. Ein Hersteller, der einen Antrag auf EU-Typgenehmigung nach dieser Richtlinie stellt, muss in diesem Zusammenhang die Funktionsweise des Warnsystems für das Bedienpersonal gemäß Abschnitt 11 nachweisen.

▼B

6. **Verfügbarkeit des Reagensmittels**

6.1. Anzeige des Reagensfüllstands

Die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile 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 das Warnsystem für das Bedienpersonal, auf das in Abschnitt 4 verwiesen wird, aktiviert wird. 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 Abschnitt 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 das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal gemäß Nummer 6.3 aktiviert wird, hinreichend auffälliger ist, als an dem Punkt, an dem das Warnsystem zuerst aktiviert wurde.

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 Nummer 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn der Füllstand im Reagensbehälter unter 2,5 % seines nominalen Fassungsvermögens sinkt oder unter einen vom Hersteller festgelegten höheren Prozentsatz.

▼B

6.3.2. Die in Nummer 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, wenn der Füllstand unter 2,5 % seines nominalen Fassungsvermögens sinkt.

6.3.3. Mit Ausnahme des in Nummer 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 Reagensmittelqualität**

7.1. Der Motor oder die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine muss über eine Möglichkeit verfügen, um das Vorhandensein eines unzureichenden Reagens in einer nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine zu ermitteln.

7.1.1. Der Hersteller muss eine minimal akzeptable Reagenskonzentration $CD_{min}$ festlegen, die bedingt, dass die $NO_x$-Emissionen entweder den geltenden $NO_x$-Grenzwert multipliziert mit 2,25 oder den geltenden $NO_x$-Grenzwert plus 1,5 g/kWh, je nachdem welcher Wert niedriger ist, nicht überschreiten. Für Motor-Unterklassen mit einem kombinierten Grenzwert für HC und $NO_x$ wird der kombinierte Grenzwert für HC und $NO_x$ um 0,19 g/kWh vermindert und gilt für $NO_x$ für die Zwecke dieser Nummer.

7.1.1.1. Der korrekte Wert von $CD_{min}$ ist während der EU-Typgenehmigung durch das in Abschnitt 13 festgelegte Verfahren nachzuweisen und in der erweiterten Dokumentation gemäß Anhang I Abschnitt 8 aufzuzeichnen.

7.1.2. Jede Reagenskonzentration unter $CD_{min}$ ist zu ermitteln und gilt für die Zwecke von Nummer 7.1 als unzureichendes Reagens.

7.1.3. Ein bestimmter Zähler („der Zähler für Reagensmittelqualität“) ist der Reagensmittelqualität zuzuordnen. Der Zähler für Reagensmittelqualität zählt die Motorbetriebsstunden, in denen ein unzureichendes Reagensmittel verwendet wurde.

7.1.3.1. Wahlweise kann der Hersteller die Fehlfunktion der Reagensqualität mit einer oder mehreren der in den Abschnitten 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 Abschnitt 11 beschrieben.

7.2. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal

Wenn das Überwachungssystem bestätigt, dass die Reagensqualität unzureichend ist, wird das in Abschnitt 4 beschriebene Warnsystem für das Bedienpersonal aktiviert. 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 Nummer 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn die Reagensqualität nicht innerhalb von 10 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Nummer 7.2 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal berichtigt wurde.

▼B

7.3.2. Die in Nummer 5.4 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn die Reagensqualität nicht innerhalb von 20 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Nummer 7.2 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal berichtigt wurde.

7.3.3. Die Zahl der Stunden vor der Aktivierung des Aufforderungssystems ist im Fall eines wiederholten Auftretens der Fehlfunktion gemäß den in Abschnitt 11 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 nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine keine Reagenszufuhr erfordert.

8.2.1.1. Wahlweise kann der Hersteller die Fehlfunktion der Reagensdosierung mit einer oder mehreren der in den Abschnitten 7 und 9 aufgeführten Fehlfunktionen auf einem einzelnen Zähler zusammenfassen.

8.2.2. Die Aktivierungs- und Deaktivierungskriterien und -mechanismen des Zählers für die Reagensdosierung sind in Abschnitt 11 beschrieben.

8.3. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal

Das in Abschnitt 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 Nummer 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine Unterbrechung der Reagenszufuhr nicht innerhalb von höchstens 10 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Nummer 8.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.

8.4.2. Die in Nummer 5.4 beschriebene schwache Aufforderung muss aktiviert werden, wenn eine Unterbrechung der Reagenszufuhr nicht innerhalb von höchstens 20 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Nummer 8.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.

8.4.3. Die Zahl der Stunden vor der Aktivierung des Aufforderungssystems sind im Fall eines wiederholten Auftretens der Fehlfunktion gemäß den in Abschnitt 11 beschriebenen Mechanismen zu reduzieren.

9. **Überwachungsfehler, die auf unbefugte 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:

▼B

a) gestörtes Abgasrückführungs-(AGR-)Ventil

b) Fehler des Diagnosesystems für $NO_x$-Emissionen (NCD) gemäß Nummer 9.2.1.

9.2. Anforderungen an die Überwachung

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 Abschnitten 6 bis 8 unmöglich wird (Bauteilüberwachung).

Eine nicht erschöpfende Liste von 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 Abschnitten 7 und 8 sowie Nummer 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 Abschnitt 11 beschrieben.

9.2.3. NCD-System-Zähler

9.2.3.1. Jedem der in Nummer 9.1 b 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 Abschnitten 7 und 8 sowie Nummer 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 Abschnitt 11 beschrieben.

9.3. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal

Das in Abschnitt 4 beschriebene Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich aktivieren, wenn einer der in Nummer 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. „Dosierventil des Reagens abgetrennt“ oder „kritischer Emissionsfehler“).

▼B

9.4. Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal

9.4.1. Die in Nummer 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn ein in Nummer 9.1 beschriebener Fehler nicht innerhalb von höchstens 36 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Nummer 9.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.

9.4.2. Die in Nummer 5.4 beschriebene starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn ein in Nummer 9.1 beschriebener Fehler nicht innerhalb von höchstens 100 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Nummer 9.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.

9.4.3. Die Zahl der Stunden vor der Aktivierung des Aufforderungssystems sind im Fall eines wiederholten Auftretens der Fehlfunktion gemäß den in Abschnitt 11 beschriebenen Mechanismen zu reduzieren.

9.5. Alternativ zu den Vorschriften in Nummer 9.2 dürfen die Hersteller eine $NO_x$-Sonde verwenden, die sich im Abgassystem befindet. In diesem Fall

a) darf der $NO_x$-Wert entweder den geltenden $NO_x$-Grenzwert multipliziert mit 2,25 oder den geltenden $NO_x$-Grenzwert plus 1,5 g/kWh nicht überschreiten, je nachdem welcher Wert niedriger ist. Für Motor-Unterklassen mit einem kombinierten Grenzwert für HC und $NO_x$ wird der kombinierte Grenzwert für HC und $NO_x$ um 0,19 g/kWh vermindert und gilt für $NO_x$ für die Zwecke dieser Nummer.

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“.

10. **Nachweisanforderungen**

10.1. Allgemeines

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Anlage ist im Laufe der Typgenehmigung durch das Erbringen der folgenden Nachweise gemäß Tabelle 4.1 und diesem Abschnitt 10 zu belegen:

a) Nachweis der Aktivierung des Warnsystems

b) Nachweis der Aktivierung der schwachen Aufforderung, falls zutreffend

c) Nachweis der Aktivierung der starken Aufforderung

10.2. Motorenfamilien und NCD-Motorenfamilien

Die Übereinstimmung einer Motorenfamilie oder einer NCD-Motorenfamilie mit den Anforderungen dieses Abschnitts 10 kann durch die Prüfung eines Motors der betrachteten Familie nachgewiesen werden, sofern der Hersteller gegenüber der Genehmigungsbehörde nachweist, dass die für die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Anlage erforderlichen Überwachungssysteme innerhalb der Familie ähnlich sind.

▼B

10.2.1. Der Nachweis, dass die Überwachungssysteme innerhalb der NCD-Familie ähnlich sind, kann durch Vorlage von Algorithmen, Funktionsanalysen usw. bei der Genehmigungsbehörde erbracht werden.

10.2.2. Der Prüfmotor wird vom Hersteller im Einvernehmen mit der Genehmigungsbehörde ausgewählt. Bei dem Prüfmotor kann es sich um den Stammmotor der betrachteten Familie handeln.

10.2.3. Im Fall von Motoren einer Motorenfamilie, die zu einer NCD-Motorenfamilie gehören, für die bereits gemäß Nummer 10.2.1 (Abbildung 4.3) eine EU-Typgenehmigung erteilt 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 dieser Anlage erforderlichen Überwachungssysteme innerhalb der berücksichtigten Motorenfamilie und NCD-Motorenfamilie ähnlich sind.

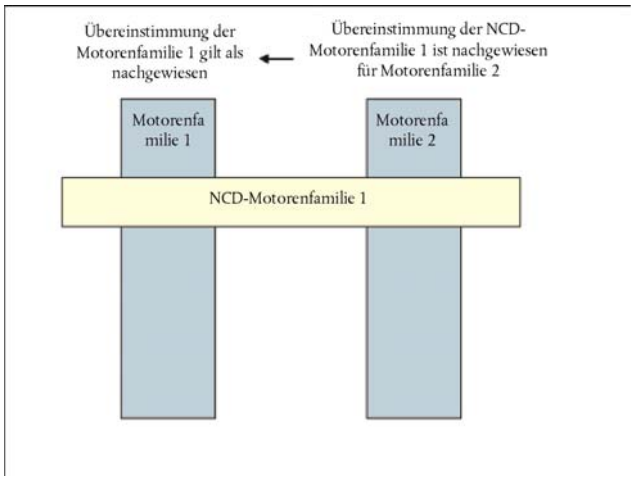
*Tabelle 4.1*

**Veranschaulichung des Inhalts des Nachweisprozesses gemäß den Bestimmungen in den Nummern 10.3 und 10.4**

| Mechanismus | Nachweiselemente |
|---|---|
| Aktivierung des Warnsystems gemäß Nummer 10.3 | — 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Reagensmangel)<br>— Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall |
| Aktivierung der schwachen Aufforderung gemäß Nummer 10.4 | — 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Reagensmangel)<br>— Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall<br>— 1 Prüfung der Drehmomentreduzierung |
| Aktivierung der starken Aufforderung gemäß Nummer 10.4.6 | — 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Reagensmangel)<br>— Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall |

*Abbildung 4.3*

**Vorheriger Nachweis der Übereinstimmung einer NCD-Motorenfamilie**



▼B

10.3. Nachweis der Aktivierung des Warnsystems

10.3.1. Die Übereinstimmung der Aktivierung des Warnsystems ist durch zwei Prüfungen nachzuweisen: Mangel an Reagens und eine der in den Abschnitten 7 bis 9 genannten Fehlerkategorien.

10.3.2. Auswahl der zu prüfenden Fehler

10.3.2.1. 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 Abschnitt 7 mitgeteilt wurde.

10.3.2.2. Für den Nachweis der Aktivierung des Warnsystems im Fall von Fehlern, die auf Manipulation gemäß der Begriffsbestimmung in Abschnitt 9 zurückzuführen sein könnten, ist die Auswahl gemäß den folgenden Anforderungen zu treffen:

10.3.2.2.1. Der Hersteller muss der Genehmigungsbehörde eine Liste der möglichen Fehler vorlegen.

10.3.2.2.2. Der bei der Prüfung zu berücksichtigende Fehler ist von der Genehmigungsbehörde aus der in Nummer 10.3.2.2.1 genannten Liste auszuwählen.

10.3.3. Nachweis

10.3.3.1. Für diesen Nachweis ist eine separate Prüfung für jeden in Nummer 10.3.1 berücksichtigten Fehler durchzuführen.

10.3.3.2. Während einer Prüfung darf kein anderer Fehler auftreten als derjenige, der Gegenstand der Prüfung ist.

10.3.3.3. Vor Beginn einer Prüfung sind alle Diagnose-Fehlercodes zu löschen.

10.3.3.4. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können die Fehler, die der Prüfung unterliegen, simuliert werden.

10.3.3.5. 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:

10.3.3.5.1. Das NCD-System muss auf einen von der Genehmigungsbehörde 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 Nummer 10.3.3.7 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 Genehmigungsbehörde auf drei NCD-Prüfzyklen erhöht werden.

Nach jedem OBD-Prüfzyklus ist der Motor abzustellen. 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.

▼B

10.3.3.5.2. Der Nachweis der Aktivierung des Warnsystems gilt als erbracht, wenn am Ende jeder Nachweisprüfung, die gemäß Nummer 10.3.2.1 durchgeführt wurde, das Warnsystem ordnungsgemäß aktiviert wurde und der Diagnose-Fehlercode für den gewählten Fehler den Status „bestätigt und aktiv“ hat.

10.3.3.6. 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.

10.3.3.6.1. Der Nachweis muss mit einem Füllstand des Reagensbehälters beginnen, auf den sich der Hersteller und die Genehmigungsbehörde geeinigt haben, der aber nicht weniger als 10 Prozent des nominalen Fassungsvermögens des Behälters beträgt.

10.3.3.6.2. 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 Prozent des Fassungsvermögens des Reagensbehälters, und

b) das „Dauer“-Warnsystem wurde aktiviert bei einer Verfügbarkeit des Reagensmittels von größer oder gleich dem Wert, der vom Hersteller gemäß den Bestimmungen in Abschnitt 6 festgelegt wurde.

10.3.3.7. NCD-Prüfzyklus

10.3.3.7.1 Bei dem in diesem Abschnitt 10 behandelten NCD-Prüfzyklus für den Nachweis der korrekten Funktionsweise des NCD-Systems handelt es sich um den NRTC-Warmstartzyklus der Unterklasse NRE-v-3, NRE-v-4, NRE-v-5 NRE-v-6 und der anzuwendenden NRSC für alle anderen Klassen.

10.3.3.7.2 Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde kann für eine bestimmte Überwachungseinrichtung ein alternativer NCD-Prüfzyklus (z. B. ein anderer als der NTRC- oder 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 Betrieb entsprechen,

b) der geltende einschlägige NCD-Prüfzyklus nach Nummer 10.3.3.7.1 zur Prüfung der jeweiligen Überwachungsfunktionen weniger geeignet ist.

10.3.4. Der Nachweis der Aktivierung des Warnsystems gilt als erbracht, wenn am Ende jeder Nachweisprüfung, die gemäß Nummer 10.3.3 durchgeführt wurde, das Warnsystem ordnungsgemäß aktiviert wurde.

10.4. Nachweis für das Aufforderungssystem

10.4.1. Der Nachweis für das Aufforderungssystem ist anhand von Prüfungen auf einem Motorprüfstand zu erbringen.

10.4.1.1. Bauteile oder Teilsysteme, die nicht in den Motor 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 Genehmigungsbehörde mit dem Motor verbunden werden oder simuliert werden.

▼B

10.4.1.2. Der Hersteller kann sich vorbehaltlich der Zustimmung der Genehmigungsbehörde dafür entscheiden, dass die Nachweisprüfungen an einer vollständigen nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine durchgeführt werden, entweder indem die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine auf einen passenden Prüfstand gestellt wird oder indem sie ungeachtet Nummer 10.4.1 auf einer Prüfstrecke unter kontrollierten Bedingungen betrieben wird.

10.4.2. Die Prüffolge soll die Aktivierung des Aufforderungssystems im Fall eines Reagensmangels und im Fall eines der Fehler, die in den Abschnitten 7, 8 oder 9 beschrieben sind, nachweisen.

10.4.3. Für die Zwecke dieses Nachweises:

a) muss die Genehmigungsbehörde neben dem Reagensmangel einen der in den Abschnitten 7, 8 oder 9 beschriebenen Fehler auswählen, der zuvor bei dem Nachweis für das Warnsystem verwendet wurde;

b) ist es zulässig, dass der Hersteller mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde 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) Die starke Aufforderung ist gemäß den Anforderungen in Nummer 10.4.6 dieser Anlage nachzuweisen.

10.4.4. Ferner muss der Hersteller den Betrieb des Aufforderungssystems unter den in den Abschnitten 7, 8 oder 9 beschriebenen Fehlerbedingungen nachweisen, welche nicht für die Verwendung in Nachweisprüfungen ausgewählt wurden, die in den Nummern 10.4.1 bis 10.4.3 beschrieben werden.

Diese zusätzlichen Nachweise können erbracht werden, indem der Genehmigungsbehörde eine technische Fallstudie unter Verwendung von Belegen wie Algorithmen, Funktionsanalysen und dem Ergebnis von vorherigen Prüfungen vorlegt wird.

10.4.4.1. Diese zusätzlichen Nachweise sollen zur Zufriedenheit der Genehmigungsbehörde insbesondere die Einbindung der korrekten Drehmomentreduzierungsmechanismen in das elektronische Motorsteuergerät belegen.

10.4.5. Nachweisprüfung der schwachen Aufforderung

10.4.5.1. Dieser Nachweis beginnt, wenn das Warnsystem, oder gegebenenfalls das „Dauer-Warnsystem“, aufgrund der Erkennung eines von der Genehmigungsbehörde gewählten Fehlers aktiviert wurde.

10.4.5.2. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines Reagensmangels im Behälter geprüft wird, so ist der Motor zu betreiben, bis die Verfügbarkeit des Reagens einen Wert von 2,5 Prozent des nominalen Fassungsvermögens des Behälters oder den vom Hersteller gemäß Nummer 6.3.1 angegebenen Wert erreicht hat, bei dem sich die schwache Aufforderung aktivieren soll.

10.4.5.2.1. Der Hersteller kann mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde den kontinuierlichen Betrieb simulieren, indem er Reagens aus dem Tank entnimmt, entweder bei laufendem oder bei abgeschaltetem Motor.

▼B

10.4.5.3. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines anderen Fehlers als Reagensmangel im Behälter geprüft wird, so ist der Motor für die entsprechende Zahl an Motorbetriebsstunden gemäß der Tabelle 4.3 zu betreiben, oder, auf Entscheidung des Herstellers hin, bis der entsprechende Zähler den Wert erreicht hat, bei dem die schwache Aufforderung aktiviert wird.

10.4.5.4. Der Nachweis der schwachen Aufforderung gilt als erbracht, wenn am Ende jeder gemäß den Nummern 10.4.5.2 und 10.4.5.3 durchgeführten Nachweisprüfung der Hersteller gegenüber der Genehmigungsbehörde nachgewiesen hat, dass das elektronische Motorsteuergerät den Drehmomentreduzierungsmechanismus aktiviert hat.

10.4.6. Nachweisprüfung der starken Aufforderung

10.4.6.1. Dieser Nachweis beginnt bei einem Zustand, in dem die schwache Aufforderung vorher bereits aktiviert wurde, und kann als Fortsetzung der Prüfungen durchgeführt werden, die unternommen wurden, um die schwache Aufforderung nachzuweisen.

10.4.6.2. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines Reagensmangels im Behälter geprüft wird, so ist der Motor zu betreiben, bis entweder der Reagensbehälter leer ist oder der Füllstand unter 2,5 % des nominalen Fassungsvermögens des Behälters gesunken ist, bei dem gemäß Hersteller die Aktivierung der starken Aufforderung einsetzt.

10.4.6.2.1. Der Hersteller kann mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde den kontinuierlichen Betrieb simulieren, indem er Reagens aus dem Tank entnimmt, entweder bei laufendem oder bei abgeschaltetem Motor.

10.4.6.3. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines anderen Fehlers als Reagensmangel im Behälter geprüft wird, so ist der Motor für die entsprechende Zahl an Motorbetriebsstunden gemäß Tabelle 4.4 zu betreiben, oder, auf die Entscheidung des Herstellers hin, bis der entsprechende Zähler den Wert erreicht hat, bei dem die starke Aufforderung aktiviert wird

10.4.6.4. Der Nachweis der starken Aufforderung gilt als erbracht, wenn am Ende jeder gemäß den Nummern 10.4.6.2 und 10.4.6.3 durchgeführten Nachweisprüfung der Hersteller gegenüber der Genehmigungsbehörde nachgewiesen hat, dass der in dieser Anlage behandelte Mechanismus zur Aktivierung der starken Aufforderung eingesetzt hat.

10.4.7. Vorbehaltlich der Zustimmung der Genehmigungsbehörde kann der Hersteller alternativ entscheiden, dass der Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Mechanismen zur Aktivierung der Aufforderung gemäß den Anforderungen in den Nummern 5.4 und 10.4.1.2 an einer vollständigen nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine durchgeführt wird, entweder indem die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine auf einen passenden Prüfstand gestellt wird oder indem sie auf einer Prüfstrecke unter kontrollierten Bedingungen betrieben wird.

10.4.7.1. Die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine ist zu betreiben, bis der dem gewählten Fehler zugeordnete Zähler die entsprechende Zahl an Betriebsstunden, die in Tabelle 4.4 angegeben ist, erreicht hat, oder gegebenenfalls bis entweder der Reagensbehälter leer ist oder der Füllstand unter 2,5 Prozent des nominalen Fassungsvermögens des Behälters gesunken ist, bei dem gemäß Hersteller die Aktivierung der starken Aufforderung einsetzt.

11. **Beschreibung der Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen des Warnsystems und des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal**

11.1 Zur Ergänzung der in dieser Anlage genannten Anforderungen hinsichtlich der Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen des Warnsystems und des Aufforderungssystems sind in diesem Abschnitt 11 die technischen Anforderungen für eine Umsetzung dieser Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen festgelegt.

▼B

11.2. Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen des Warnsystems

11.2.1. Das Betreiberwarnsystem muss sich aktivieren, wenn der Diagnose-Fehlercode, welcher einer NCM zugeordnet ist, die die Aktivierung des Fahrerwarnsystems bedingt, den in Tabelle 4.2 definierten Status aufweist.

*Tabelle 4.2*

**Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal**

| Art des Fehlers | Status des Diagnose-Fehlercodes für die Aktivierung des Fahrerwarnsystems |
|---|---|
| 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 |

11.2.2. 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.

11.2.2.1 Vorschriften für die Löschung von „Informationen über die Minderung von $NO_x$-Emissionen“

11.2.2.1.1. 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 4.3).

*Tabelle 4.3*

**Löschen/Zurücksetzen von „Informationen über die Minderung von $NO_x$-Emissionen“ mit einem Lesegerät**

| Informationen 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 |

11.2.2.1.2. Informationen über die Minderung von $NO_x$-Emissionen dürfen nicht durch das Abklemmen der Batterie(n) der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine gelöscht werden.

11.2.2.1.3. Das Löschen von „Informationen über die Minderung von $NO_x$-Emissionen“ darf nur bei „stehendem Motor“ möglich sein.

▼B

11.2.2.1.4. Wenn „Informationen über die Minderung von $NO_x$-Emissionen“, einschließlich Diagnose-Fehlercodes, gelöscht werden, dürfen die Zähler nicht gelöscht werden, die diesen Fehlfunktionen zugeordnet sind und die in dieser Anlage als Zähler definiert sind, (die nicht gelöscht werden dürfen); sie sind stattdessen auf den im einschlägigen Abschnitt dieser Anlage genannten Wert zurückzusetzen.

11.3. Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal

11.3.1. 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 4.4 erreicht.

11.3.2. 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.

11.3.3. Das Warnsystem für das Bedienpersonal und das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal müssen nach der Bewertung der Reagensqualität im Reagensbehälter gemäß den Bestimmungen in Abschnitt 6 sofort aktiviert oder gegebenenfalls deaktiviert werden. In diesem Fall sind die Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen nicht vom Status eines zugeordneten Diagnose-Fehlercodes abhängig.

11.4. Zählermechanismus

11.4.1. Allgemeines

11.4.1.1. 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.

11.4.1.1.1. Wahlweise kann der Hersteller einen einzelnen oder mehrere Zähler verwenden, um die in Nummer 11.4.1.1 aufgeführten Fehlfunktionen in Gruppen einzuordnen.

11.4.1.2. 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.

11.4.1.3. 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.

11.4.1.3.1. Wenn der Hersteller entscheidet, mehrere NCD-System-Zähler für das Überwachungssystem zu verwenden, muss das System in der Lage sein, jeder Fehlfunktion, die gemäß dieser Anlage für diese Art von Zähler relevant ist, einen spezifischen Überwachungssystem-Zähler zuzuordnen.

▼B

11.4.2. Prinzip des Zähler-Mechanismus

11.4.2.1. Jeder Zähler muss wie folgt arbeiten:

11.4.2.1.1. 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 4.2 festgelegten Status aufweist.

11.4.2.1.2. Im Fall von wiederholten Fehlern wird nach Wahl des Herstellers eine der folgenden Bestimmungen angewandt:

a) Wenn ein einzelnes Überwachungsereignis 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 4.4 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 4.4 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.

11.4.2.1.3. 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 Nummer 11.4.2.1.2 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 4.4*

**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 |
| Zähler für die Zufuhr | Bestätigt und aktiv | ≤ 10 Stunden | ≤ 20 Stunden | ≥ 90 % des Werts des Zählers für die starke Aufforderung |
| Zähler für das AGR-Ventil | Bestätigt und aktiv | ≤ 36 Stunden | ≤ 100 Stunden | ≥ 95 % des Werts des Zählers für die starke Aufforderung |
| Zähler für das Überwachungssystem | Bestätigt und aktiv | ≤ 36 Stunden | ≤ 100 Stunden | ≥ 95 % des Werts des Zählers für die starke Aufforderung |
| Ggf. $NO_x$-Emissionsgrenzwert | Bestätigt und aktiv | ≤ 10 Stunden | ≤ 20 Stunden | ≥ 90 % des Werts des Zählers für die starke Aufforderung |

11.4.2.1.4. Sobald er eingefroren ist, ist der Zähler auf Null zurückzusetzen, wenn die für diesen Zähler relevanten Überwachungsfunktionen mindestens einmal ihren Überwachungszyklus durchlaufen haben, ohne

▼B

dass sie eine Fehlfunktion erkannt haben, und keine für diesen Zähler relevante Fehlfunktion in den 40 Motorbetriebsstunden seit letztmaligem Anhalten des Zählers (siehe Abbildung 4.4) erkannt wurde.

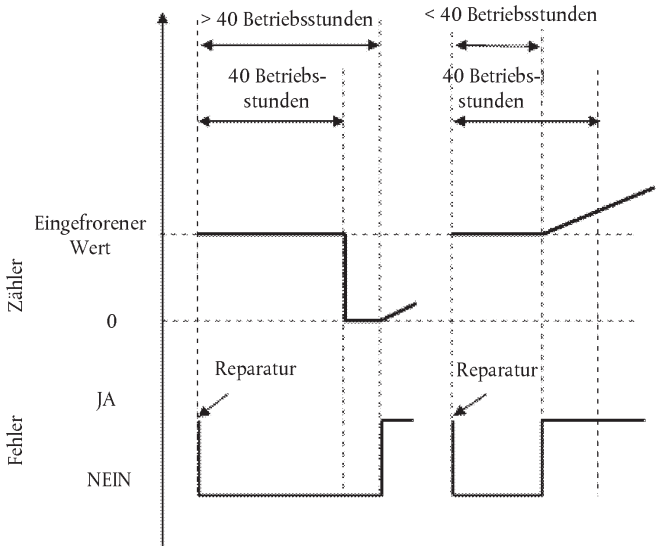
11.4.2.1.5. Der Zähler muss bei dem Wert erneut anfangen zu zählen, bei dem er angehalten wurde, falls eine für diesen Zähler relevante Fehlfunktion während des Zeitraums, in dem der Zähler eingefroren war (siehe Abbildung 4.4), erkannt wurde.

12. **Veranschaulichung der Aktivierungs-, Deaktivierungs- und Zähler-Mechanismen**

12.1. In diesem Abschnitt 12 werden die Aktivierungs-, Deaktivierungs- und Zähler-Mechanismen für einige typische Fälle veranschaulicht. Die in den Nummern 12.2, 12.3 und 12.4 dargestellten Abbildungen und Beschreibungen sind ausschließlich für den Zweck der Veranschaulichung in dieser Anlage 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 4.6 und 4.7 beziehen sich auf die Höchstwerte für die starke Aufforderung in Tabelle 4.4. 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 4.4*

**Erneute Aktivierung und Zurücksetzen auf Null eines Zählers nach einem Zeitraum, in dem sein Wert eingefroren war**




12.2. Abbildung 4.5 veranschaulicht die Funktion der Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen während der Überwachung der Verfügbarkeit des Reagensmittels in vier Fällen:

a) Betriebsfall 1: Das Bedienpersonal betreibt die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine trotz der Warnung weiter, bis der Betrieb der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine deaktiviert wird;

▼B

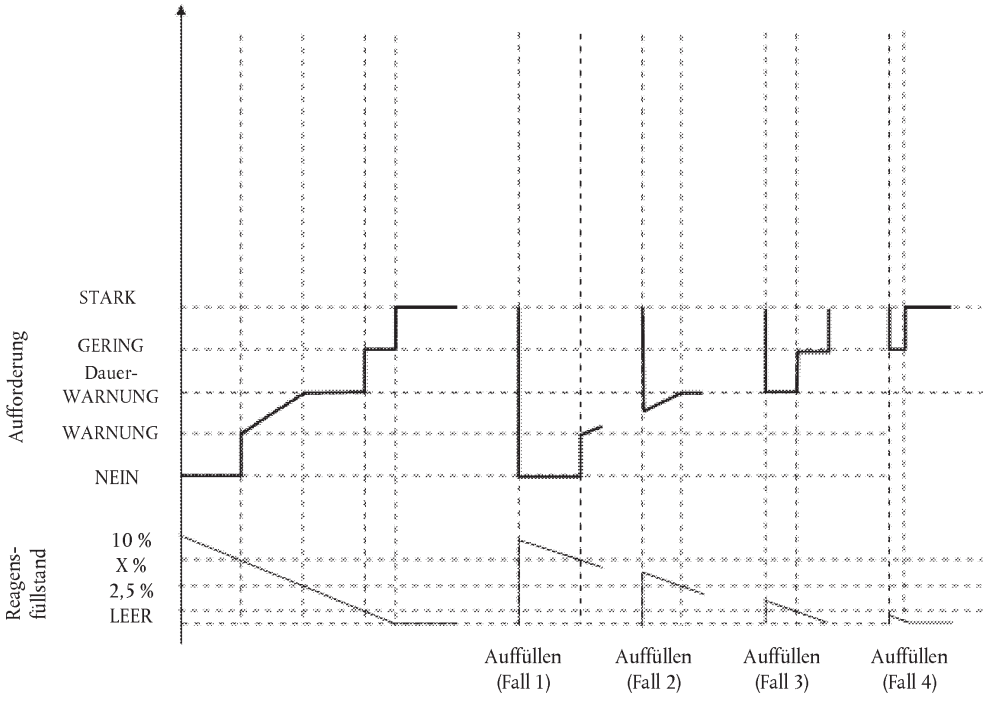
b) Nachfüllen, Fall 1 („ausreichendes“ Nachfüllen): Das Bedienpersonal füllt den Reagensbehälter auf, sodass ein Füllstand über der 10 %-Schwelle erreicht wird. Warnungs- und Aufforderungssystem werden deaktiviert.

c) Nachfüllen, Fälle 2 und 3 („unzulängliches“ Nachfüllen): Das Warnsystem ist aktiviert. Die Stufe der Warnung hängt von der verfügbaren Reagensmenge ab.

d) Nachfüllen, Fall 4 („sehr unzulängliches“ Nachfüllen): Die schwache Aufforderung wird sofort aktiviert.

*Abbildung 4.5*

**Verfügbarkeit des Reagensmittels**




12.3. Abbildung 4.6 veranschaulicht drei Fälle mit falscher Reagensqualität:

a) Betriebsfall 1: Das Bedienpersonal betreibt die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine trotz der Warnung weiter, bis der Betrieb der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine deaktiviert wird;

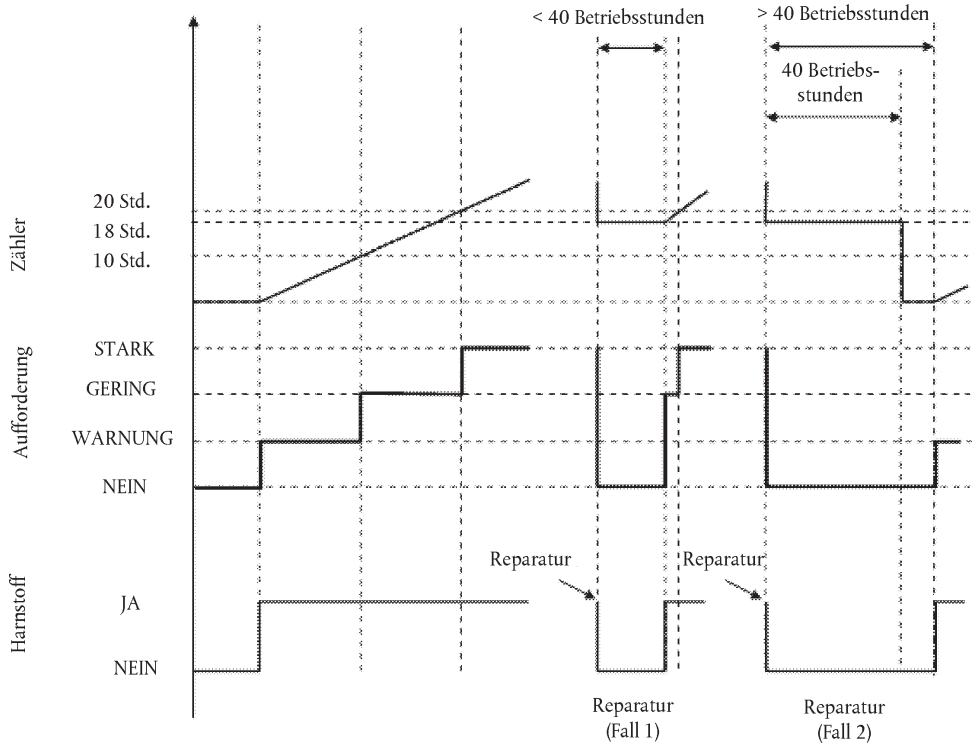
b) Reparaturfall 1 („schlechte“ oder „unlautere“ Reparatur): Nach der Deaktivierung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine wechselt das Bedienpersonal das Reagens gegen ein Reagens mit höherer Reagensqualität aus, tauscht dieses Reagens aber nach kurzer Zeit wieder gegen ein Reagens mit niedrigerer Qualität aus. Das Aufforderungssystem wird sofort erneut aktiviert und der Betrieb der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine wird nach zwei Motorbetriebsstunden deaktiviert.

▼B

c) Reparaturfall 2 („gute“ Reparatur): Nach der Deaktivierung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine berichtigt 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 4.6*

**Nachfüllen eines Reagens mit niedriger Qualität**




12.4. Abbildung 4.7 veranschaulicht drei Fälle von Fehlern beim Harnstoff-Dosiersystem. Diese Abbildung veranschaulicht auch den Prozess, der im Fall von den in Abschnitt 9 beschriebenen Überwachungsfehlern Anwendung findet.

a) Betriebsfall 1: Das Bedienpersonal betreibt die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine trotz der Warnung weiter, bis der Betrieb der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine deaktiviert wird;

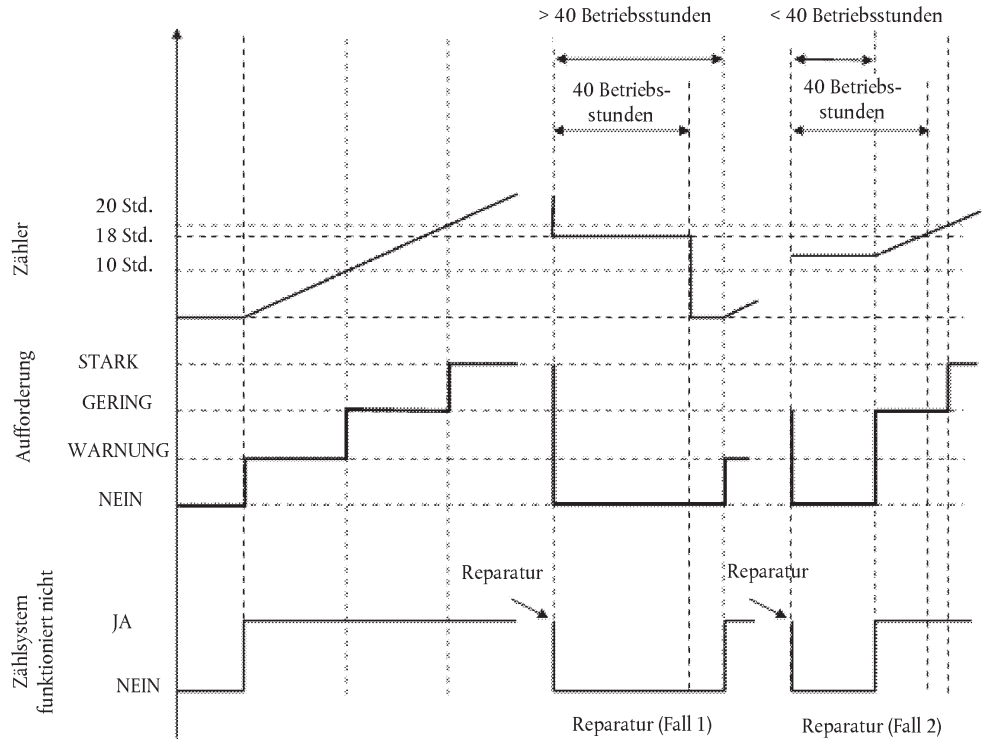
b) Reparaturfall 1 („gute“ Reparatur): Nach der Deaktivierung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine repariert das Bedienpersonal das Zufuhrsystem. Allerdings versagt das Zufuhrsystem nach einiger Zeit erneut. Das Warn- und Aufforderungssystem sowie die Zählprozesse beginnen wieder bei Null.

c) 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 wird sofort erneut aktiviert, und der Zähler fängt bei dem Wert wieder an zu zählen, den er vor der Reparatur angezeigt hat.

▼B

*Abbildung 4.7*

**Fehler beim Reagens-Zufuhrsystem**




13. **Nachweis der akzeptablen Minimal-Reagenskonzentration $CD_{min}$**

13.1. Der Hersteller muss den korrekten Wert von $CD_{min}$ während des EU-Typgenehmigungsverfahrens nachweisen, indem er unter Verwendung eines Reagens mit der Konzentration $CD_{min}$ für Motoren der Unterklassen NRE-v-3, NRE-v-4, NRE-v-5, NRE-v-6 den NRTC-Zyklus mit Warmstart und für alle anderen Klassen den anzuwendenden NRSC durchführt.

13.2. 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.

13.3. Die Schadstoffemissionen bei dieser Prüfung müssen unter den in Nummer 7.1.1 festgelegten $NO_x$-Grenzwerten liegen.

▼B

*Anlage 2*

**Zusätzliche technische Anforderungen an Einrichtungen zur Minderung der $NO_x$-Emissionen für Motoren der Klassen IWP, IWA und RLR, einschließlich des Nachweisverfahrens für diese Strategien**

1. **Einführung**

Diese Anlage enthält die zusätzlichen Anforderungen, durch die das ordnungsgemäße Arbeiten von Einrichtungen zur Minderung von $NO_x$-Emissionen bei Motoren der Klassen IWP, IWA und RLR gewährleistet wird.

2. **Allgemeine Vorschriften**

Die Anforderungen nach Anlage 1 gelten zusätzlich für Motoren des Geltungsbereichs dieser Anlage.

3. **Ausnahmen von den Anforderungen der Anlage 1**

Damit Sicherheitsaspekten Rechnung getragen wird, gelten die Anforderungen nach Anlage 1 nicht für Motoren im Geltungsbereich dieser Anlage. Folglich gelten folgende Nummern der Anlage 1 nicht: 2.3.3.2, 5, 6.3, 7.3, 8.4, 9.4, 10.4 und 11.3.

4. **Anforderungen an das Speichern von Motorbetriebsereignissen mit unzureichender Reagensmitteleinspritzung oder Reagensmittelqualität**

4.1. Das Bordcomputerprotokoll muss in einem nichtflüchtigen Speicher oder in Zählern die Gesamtzahl und -dauer aller Motorbetriebsereignisse mit unzureichender Reagensmitteleinspritzung oder Reagensmittelqualität so aufzeichnen, dass die Daten nicht absichtlich gelöscht werden können.

Es muss den nationalen Kontrollbehörden möglich sein, diese Aufzeichnungen mit einem Lesegerät zu lesen.

4.2. Die Dauer eines Ereignisses, das in dem in Nummer 4.1 beschriebenen Speicher aufgezeichnet ist, beginnt, wenn das Dosiersystem nicht mehr in der Lage ist, Reagens aus dem Behälter zu beziehen oder, nach Ermessen des Herstellers, wenn der Füllstand unter 2,5 % seines nominalen Fassungsvermögens sinkt.

4.3. Bei anderen als den in Nummer 4.1.1 genannten Ereignissen beginnt die Dauer eines Ereignisses, das in einem Speicher nach Nummer 4.1 aufgezeichnet wird, wenn der jeweilige Zähler den Wert für starke Aufforderungen nach Anlage 1 Tabelle 4.4 erreicht.

4.4. Die Dauer eines in dem Speicher nach Nummer 4.1 aufgezeichneten Ereignisses endet, wenn das Ereignis behoben wurde.

4.5. Beim Führen eines Nachweises nach den Anforderungen in Anlage 1 Abschnitt 10 ist der Nachweis der starken Aufforderung gemäß Nummer 10.1 c dieser Anlage und der entsprechenden Tabelle 4.1 zu ersetzen durch einen Nachweis der Speicherung eines Motorbetriebsereignisses mit unzureichender Reagensmitteleinspritzung oder Reagensmittelqualität.

In diesem Fall gelten die Anforderungen in Anlage 1 Nummer 10.4.1, und es ist zulässig, dass der Hersteller mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde die Prüfung beschleunigt durchführt, indem er das Erreichen einer bestimmten Zahl an Motorbetriebsstunden simuliert

▼B

*Anlage 3*

**Zusätzliche technische Anforderungen an Einrichtungen zur Minderung von $NO_x$-Emissionen bei Motoren der Klasse RLL**

1. **Einführung**

Diese Anlage enthält die zusätzlichen Anforderungen, durch die das ordnungsgemäße Arbeiten von Einrichtungen zur Minderung von $NO_x$-Emissionen bei Motoren der Klasse RLL gewährleistet wird. Dies beinhaltet auch Anforderungen für Motoren, die mit einem Reagens arbeiten, um Emissionen zu reduzieren. Voraussetzung für die EU-Typgenehmigung ist, dass die in dieser Anlage enthaltenen einschlägigen Bestimmungen über die Unterweisung des Bedienpersonals, die Einbauunterlagen und das System zur Warnung des Bedienpersonals angewendet werden.

2. **Vorgeschriebene Angaben**

2.1. Der Hersteller muss mithilfe der Unterlagen in Anhang I Teil A Nummer 1.5 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 vollständige Angaben über die Funktions- und Betriebsmerkmale der Einrichtungen zur Minderung von $NO_x$-Emissionen machen.

2.2. Arbeitet die Emissionsminderungsanlage 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 dem in Anhang I Anlage 3 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 enthaltenen Beschreibungsbogen angegeben werden.

3. **Verfügbarkeit des Reagensmittels und Warnsystem für das Bedienpersonal**

Voraussetzung für die EU-Typgenehmigung bei Verwendung eines Reagens ist, dass — je nach Auslegung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten Maschinen und Geräte — der Bediener durch Anzeigen oder sonstige geeignete Mittel über Folgendes informiert wird:

a) den Füllstand im Reagensbehälter. Sinkt der Füllstand unter 10 % der Behälterkapazität, wird ein zusätzliches spezielles Signal aktiviert;

b) wenn der Reagensbehälter leer oder fast leer ist;

c) wenn das Reagens im Behälter nach den eingebauten Analyseinstrumenten nicht die angegebenen und im Beschreibungsbogen nach Anhang I Anlage 3 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 aufgeführten Eigenschaften aufweist;

d) wenn die Reagenszufuhr bei Motorbetriebsbedingungen, bei denen keine Dosierung erforderlich ist, unterbrochen wird, ohne dass dies vom Motorsteuergerät oder der Dosiersteuerung veranlasst wird. Diese Betriebsbedingungen müssen der Genehmigungsbehörde genannt werden.

4. **Reagensqualität**

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

b) indirekt, z. B. durch den Einsatz eines $NO_x$-Sensors im Abgassystem, mit dem die Wirksamkeit des Reagens beurteilt werden kann;

c) durch eine beliebige andere Methode, vorausgesetzt, sie ist mindestens ebenso zuverlässig wie die unter a und b genannten Verfahren und die wichtigsten Anforderungen dieses Abschnitts 4 werden eingehalten.

▼B

*Anlage 4*

**Technische Anforderungen an Einrichtungen zur Minderung der Emissionen luftverunreinigender Partikel, einschließlich der Methoden zum Nachweis dieser Einrichtungen**

1. **Einleitung**

In dieser Anlage sind die Anforderungen beschrieben, durch die das ordnungsgemäße Arbeiten von Einrichtungen zur Minderung der Emissionen luftverunreinigender Partikel gewährleistet wird.

2. **Allgemeine Vorschriften**

Der Motor muss mit einem Diagnosesystem des Partikelminderungssystems (PCD) ausgerüstet sein, das geeignet ist, die in dieser Anlage genannten Funktionsstörungen des Partikelnachbehandlungssystems zu erkennen. Jeder von diesem Abschnitt 2 erfasste Motor muss so konstruiert, gefertigt und eingebaut sein, dass er diese Anforderungen während der normalen Motorlebensdauer unter normalen Betriebsbedingungen erfüllt. Dabei ist es akzeptabel, wenn bei Motoren, die über die in Anhang V der Verordnung (EU) 2016/1628 festgelegte Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode hinaus eingesetzt wurden, die Leistung und Empfindlichkeit des PCD gemindert ist.

2.1. Vorgeschriebene Angaben

2.1.1. Arbeitet die Emissionsminderungsanlage mit einem Reagens, z. B. einem Katalysator als Kraftstoffadditiv, so müssen die Eigenschaften dieses Reagens (Art, Konzentration in Lösung, Betriebstemperatur, Verweise auf internationale Normen für die Zusammensetzung und Qualität) vom Hersteller in dem in Anhang I Anlage 3 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 enthaltenen Beschreibungsbogen angegeben werden.

2.1.2. Der Genehmigungsbehörde sind zum Zeitpunkt der EU-Typgenehmigung ausführliche schriftliche Informationen vorzulegen, aus denen die Funktionsmerkmale des Warnsystems für das Bedienpersonal hervorgehen.

2.1.3. Der Hersteller muss Einbauunterlagen vorlegen, die bei Verwendung durch den OEM gewährleisten, dass der Motor einschließlich der Emissionsminderungsanlage, die Teil des genehmigten Motorentyps oder der genehmigten Motorenfamilie ist, nach Einbau in die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine so mit den notwendigen Maschinenteilen zusammenarbeitet, dass die in diesem Anhang enthaltenen Anforderungen eingehalten werden. Diese Unterlagen müssen die detaillierten technischen Anforderungen sowie die Vorschriften für den Motor (Software, Hardware und Kommunikationssysteme) umfassen, die für den korrekten Einbau des Motors in die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine erforderlich sind.

2.2. Betriebsbedingungen

2.2.1. Das PCD-System 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).

2.3. Diagnoseanforderungen

2.3.1. Das PCD-System muss geeignet sein, mithilfe von rechnergespeicherten Diagnosefehlercodes (DTC) die in diesem Anhang genannten Funktionsstörungen des Systems zur Minderung der Emissionen luftverunreinigender Partikel (PCM) zu erkennen sowie diese Informationen nach außen zu übermitteln.

▼B

2.3.2. Anforderungen an die Aufzeichnung von Diagnosefehlercodes (DTC)

2.3.2.1. Das PCD-System muss für jede einzelne PCM einen DTC aufzeichnen.

2.3.2.2. Das PCD-System muss innerhalb der in Tabelle 4.5 angegebenen Motorbetriebszeiten feststellen, ob eine erkennbare Funktionsstörung vorliegt. Ist das der Fall, so ist ein „bestätigter und aktiver“ DTC zu speichern, und das Warnsystem ist nach Abschnitt 4 zu aktivieren.

2.3.2.3. In Fällen, in denen mehr als die in Tabelle 1 angegebene Betriebszeit erforderlich ist, damit die Überwachungseinrichtungen eine PCM ordnungsgemäß erkennen und bestätigen (z. B. bei Überwachungseinrichtungen, die mit statistischen Verfahren arbeiten oder den Verbrauch von Betriebsflüssigkeiten der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine erfassen), kann die Genehmigungsbehörde 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.

*Tabelle 4.5*

**Typen von Überwachungseinrichtungen und entsprechender Zeitraum für die Speicherung eines „bestätigten und aktiven“ DTC**

| Typ der Überwachungseinrichtung | Zeitraum der kumulierten Laufzeit, innerhalb deren ein „bestätigter und aktiver“ DTC gespeichert werden muss |
|---|---|
| Entfernung des Partikelnachbehandlungssystems | 60 Minuten Motorbetrieb nicht im Leerlauf |
| Funktionsverlust des Partikelnachbehandlungssystems | 240 Minuten Motorbetrieb nicht im Leerlauf |
| Fehler des PCD-Systems | 60 Minuten Motorbetrieb |

2.3.3. Anforderungen an das Löschen von Diagnosefehlercodes (DTCs)

a) DTC dürfen durch das PCD-System so lange nicht vom Speicher des Rechners gelöscht werden, bis die dem DTC zugrunde liegende Störung behoben wurde;

b) das PCD-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;

c) die Aufzeichnung von Betriebsereignissen mit einem bestätigten und aktiven DTC, die in einem nichtflüchtigen Speicher gemäß Nummer 5.2 gespeichert werden, darf nicht gelöscht werden.

2.3.4. Ein PCD-System darf nicht so programmiert oder konzipiert sein, dass Teile davon oder das Gesamtsystem während der Lebensdauer des Motors in Abhängigkeit vom Alter der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine deaktiviert werden, und in ihm darf kein Algorithmus und keine Strategie implementiert sein, der/die die Wirksamkeit des PCD-Systems mit der Zeit herabsetzt.

2.3.5. Alle umprogrammierbaren Rechnercodes oder Betriebsparameter des PCD-Systems müssen gegen unbefugte Eingriffe gesichert sein.

▼B

2.3.6. PCD-Motorenfamilie

Für die Zusammensetzung einer PCD-Motorenfamilie ist der Hersteller verantwortlich. Die Zusammensetzung einer PCD-Motorenfamilie wird vom Hersteller nach fachlichem Ermessen und im Einvernehmen mit der Genehmigungsbehörde bestimmt.

Motoren, die nicht derselben Motorenfamilie angehören, können dennoch derselben PCD-Motorenfamilie angehören.

2.3.6.1. Merkmale zur Bestimmung einer PCD-Motorenfamilie

Eine PCD-Motorenfamilie lässt sich anhand einer Reihe grundlegender Konstruktionsmerkmale definieren, in denen die zu einer solchen Familie gehörenden Motoren übereinstimmen müssen.

Motoren können ein und derselben PCD-Motorenfamilie zugeordnet werden, wenn sie in den nachfolgend aufgeführten grundlegenden Merkmalen übereinstimmen:

a) Arbeitsweise des Partikelnachbehandlungssystems (z. B. mechanisch, aerodynamisch, Diffusions- oder Trägheitsabscheidung, periodisch arbeitendes Regenerationssystem, kontinuierlich arbeitendes Regenerationssystem);

b) PCD-Überwachungsverfahren;

c) Kriterien für die PCD-Überwachung;

d) Merkmale der Überwachung (z. B. Überwachungshäufigkeit).

Die Übereinstimmung ist vom Hersteller durch technische Analyse oder mit anderen geeigneten Mitteln und im Einvernehmen mit der Genehmigungsbehörde nachzuweisen.

Der Hersteller kann die Genehmigung leichter Abweichungen in den Verfahren zur Überwachung/Diagnose des PCD-Überwachungssystems durch die Genehmigungsbehörde 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, Abgasstrom usw.) oder wenn die Ähnlichkeiten nach bestem fachlichem Ermessen festgestellt wurden.

3. **Wartungsanforderungen**

3.1. Der Hersteller muss allen Endnutzern neuer Motoren oder neuer Maschinen schriftliche Anweisungen über die Emissionsminderungsanlage und ihre ordnungsgemäße Funktion gemäß Anlage XV zur Verfügung stellen oder zur Verfügung stellen lassen.

4. **Warnsystem für das Bedienpersonal**

4.1. Die nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine muss ein Warnsystem für das Bedienpersonal umfassen, das optische Signale verwendet.

4.2. Das Warnsystem für das Bedienpersonal kann aus einer oder mehreren Lampen bestehen oder kurze Nachrichten anzeigen.

Werden Meldungen angezeigt, so kann das System für die Anzeige dieser Meldungen dasselbe sein wie das für andere Wartungs- oder NCD-Zwecke genutzte System.

▼B

Das Warnsystem muss 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. „Sensor abgetrennt“ oder „kritischer Emissionsfehler“).

4.3. 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.

4.4. Das Warnsystem für das Bedienpersonal ist entsprechend Nummer 2.3.2.2 zu aktivieren.

4.5. 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.

4.6. Das Warnsystem darf durch andere Warnsignale, die wichtige sicherheitsbezogene Hinweise anzeigen, vorübergehend unterbrochen werden.

4.7. Ein Hersteller, der einen Antrag auf EU-Typgenehmigung nach der Verordnung (EU) 2016/1628 stellt, muss die Funktionsweise des Warnsystems für das Bedienpersonal gemäß Abschnitt 9 nachweisen.

5. **Speichersystem für Informationen über die Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal**

5.1 Das PCD-System muss in einem nichtflüchtigen computergestützten Speicher oder Zählern die Motorbetriebsereignisse mit einem bestätigten und aktiven DTC so speichern, dass die Information nicht absichtlich gelöscht werden kann.

5.2 Das PCD muss im nichtflüchtigen Speicher die Gesamtzahl und Gesamtdauer aller Motorbetriebsereignisse mit einem bestätigten und aktiven DTC speichern, bei dem das Warnsystem für das Bedienpersonal nach Wahl des Herstellers während 20 Motorbetriebsstunden oder weniger aktiv war.

5.2 Es muss den nationalen Behörden möglich sein, diese Aufzeichnungen mit einem Lesegerät zu lesen.

6. **Überwachung im Hinblick auf die Entfernung des Partikelnachbehandlungssystems**

6.1 Das PCD muss die vollständige Entfernung des Partikelnachbehandlungssystems einschließlich der Entfernung jeglicher Sensoren zur Überwachung, zum Einschalten, Ausschalten oder Modulieren seines Betriebs feststellen.

7. **Zusätzliche Anforderungen im Falle eines Partikelnachbehandlungssystems, das mit einem Reagens arbeitet (z. B. Katalysator als Kraftstoffadditiv)**

7.1 Bei einem bestätigten und aktiven DTC für die Entfernung eines Partikelnachbehandlungssystems oder den Verlust einer Funktion des Partikelnachbehandlungssystems muss die Reagens-Zufuhr unverzüglich unterbrochen werden. Die Zufuhr wird wieder aufgenommen, wenn das DTC nicht mehr aktiv ist.

7.2 Das Warnsystem ist einzuschalten, wenn der Reagensfüllstand unter den vom Hersteller angegebenen Mindestwert fällt.

▼B

8. **Überwachungsfehler, die auf unbefugte Eingriffe zurückzuführen sein könnten**

8.1. Zusätzlich zur Überwachung der Entfernung des Partikelnachbehandlungssystems sind folgende Fehler zu überwachen, weil diese auf unbefugte Eingriffe zurückzuführen sein könnten:

a) Verlust der Funktion des Partikelnachbehandlungssystems

b) Fehler des PCD-Systems, wie in Nummer 8.3 beschrieben.

8.2 Überwachung des Verlusts der Funktion des Partikelnachbehandlungssystems

Das PCD muss die vollständige Entfernung des Substrats des Partikelnachbehandlungssystems („leerer Tank“) feststellen. In diesem Fall sind das Gehäuse des Partikelnachbehandlungssystems und die Sensoren zur Überprüfung, zum Einschalten, Ausschalten oder Modulieren seines Betriebs noch vorhanden.

8.3. Überwachung von Fehlern des PCD-Systems

8.3.1. Das PCD-System ist auf elektrische Störungen und auf die Entfernung oder Deaktivierung von Sensoren oder der Stelleinrichtung hin zu überwachen, durch die die Diagnose von Fehlern nach den Nummern 6.1 und 8.1a unmöglich wird (Bauteilüberwachung).

Eine nicht erschöpfende Liste von Sensoren, die die Diagnoseleistung beeinflussen, umfasst solche, die den Differentialdruck über das Partikelnachbehandlungssystem direkt messen, und Abgastemperatursensoren zur Überwachung der Regeneration des Partikelnachbehandlungssystems.

8.3.2. Verhindert das Versagen, die Entfernung oder das Ausschalten eines einzigen Sensors oder einer einzigen Stelleinrichtung des PCD-Systems die Diagnose innerhalb der erforderlichen Zeit nach Eintritt der Fehler gemäß Nummer 6.1 und 8.1a (redundantes System) nicht, so sind das Einschalten des Warnsystems und die Speicherung von Informationen über das Warnsystem für das Bedienpersonal nicht vorzuschreiben, es sei denn, zusätzliche Versagen von Sensoren oder Stelleinrichtungen sind bestätigt und aktiv.

9. **Nachweisanforderungen**

9.1. Allgemeines

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Anlage ist bei der EU-Typgenehmigung gemäß Tabelle 4.6 und diesem Abschnitt 9 durch den Nachweis der Aktivierung des Warnsystems zu belegen.

*Tabelle 4.6*

**Veranschaulichung des Inhalts des Nachweisprozesses gemäß den Bestimmungen in Nummer 9.3**

| Mechanismus | Nachweiselemente |
|---|---|
| Aktivierung des Warnsystems gemäß Nummer 4.4 | — 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Verlust der Funktion des Partikelnachbehandlungssystems)<br>— Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall |

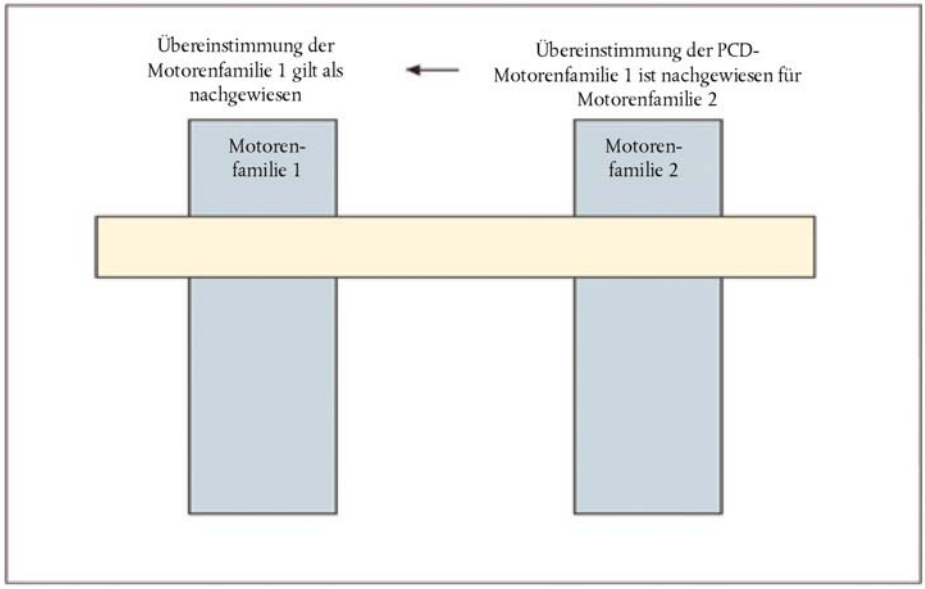
▼B

9.2. Motorenfamilien und PCD-Motorenfamilien

9.2.1. Im Fall von Motoren einer Motorenfamilie, die zu einer PCD-Motorenfamilie gehören, für die bereits gemäß Abbildung 4.8 eine EU-Typgenehmigung erteilt 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 PCD-Motorenfamilie ähnlich sind.

*Abbildung 4.8*

**Vorheriger Nachweis der Übereinstimmung einer PCD-Motorenfamilie**




9.3. Nachweis der Aktivierung des Warnsystems

9.3.1. Die Übereinstimmung der Aktivierung des Warnsystems ist durch zwei Prüfungen nachzuweisen: Funktionsverlust des Partikelnachbehandlungssystems und eine der in den Nummern 6 bis 8.3 dieses Anhangs genannten Fehlerkategorien.

9.3.2. Auswahl der zu prüfenden Fehler

9.3.2.1. Der Hersteller muss der Genehmigungsbehörde eine Liste der möglichen Fehler vorlegen.

9.3.2.2. Der bei der Prüfung zu berücksichtigende Fehler ist von der Genehmigungsbehörde aus der in Nummer 9.3.2.1 genannten Liste auszuwählen.

9.3.3. Nachweis

9.3.3.1. Für die Zwecke dieses Nachweises ist eine separate Prüfung auf Funktionsverlust des Partikelnachbehandlungssystems gemäß Nummer 8.2 und auf die Fehler gemäß den Nummern 6 und 8.3 durchzuführen. Der Funktionsverlust des Partikelnachbehandlungssystems ist durch vollständige Entfernung des Substrats aus dem Gehäuse des Partikelnachbehandlungssystems herbeizuführen.

9.3.3.2. Während einer Prüfung darf kein anderer Fehler auftreten als derjenige, der Gegenstand der Prüfung ist.

▼B

9.3.3.3. Vor Beginn einer Prüfung sind alle Diagnose-Fehlercodes zu löschen.

9.3.3.4. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können die Fehler, die der Prüfung unterliegen, simuliert werden.

9.3.3.5. Feststellung von Fehlern

9.3.3.5.1. Das PCD-System muss auf einen von der Genehmigungsbehörde ausgewählten und bedingten Fehler gemäß den Bestimmungen dieser Anlage reagieren. Der Nachweis gilt als erbracht, wenn die Aktivierung innerhalb einer Reihe von aufeinander folgenden PCD-Prüfzyklen gemäß Tabelle 4.7 erfolgt.

Ist in der Beschreibung einer Überwachungseinrichtung angegeben, dass für den Abschluss eines Überwachungsvorgangs mehr PCD-Prüfzyklen notwendig sind als in Tabelle 4.7 angegeben, so kann die Zahl der PCD-Prüfzyklen mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde um bis zu 50 % erhöht werden.

Nach jedem PCD-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.

*Tabelle 4.7*

**Typen von Überwachungseinrichtungen und entsprechende Zahl der PCD-Prüfzyklen, in deren Verlauf ein „bestätigter und aktiver“ DTC zu speichern ist**

| Typ der Überwachungseinrichtung | Zahl der PCD-Prüfzyklen, in deren Verlauf ein „bestätigter und aktiver“ DTC zu speichern ist |
|---|---|
| Entfernung des Partikelnachbehandlungssystems | 2 |
| Funktionsverlust des Partikelnachbehandlungssystems | 8 |
| Fehler des PCD-Systems | 2 |

9.3.3.6. PCD-Prüfzyklus

9.3.3.6.1. Bei dem in diesem Abschnitt 9 behandelten PCD-Prüfzyklus für den Nachweis der korrekten Funktionsweise des Partikelnachbehandlungs-Überwachungssystems handelt es sich um den NRTC-Warmstart-Zyklus für Motoren der Unterklasse NRE-v-3, NRE-v-4, NRE-v-5 NRE-v-6 und der anzuwendenden NRSC für alle anderen Klassen.

9.3.3.6.2. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde kann für eine bestimmte Überwachungseinrichtung ein alternativer PCD-Prüfzyklus (z. B. ein anderer als der NTRC- oder 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, und

▼B

b) der geltende einschlägige PCD-Prüfzyklus nach Nummer 9.3.3.6.1 zur Prüfung der jeweiligen Überwachungsfunktionen weniger geeignet ist.

9.3.3.7 Konfiguration zum Nachweis der Aktivierung des Warnsystems

9.3.3.7.1. Der Nachweis der Aktivierung des Warnsystems ist anhand von Prüfungen auf einem Motorprüfstand zu erbringen.

9.3.3.7.2. Bauteile oder Teilsysteme, die nicht in den Motor 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 Genehmigungsbehörde mit dem Motor verbunden werden oder simuliert werden.

9.3.3.7.3. Der Hersteller kann sich vorbehaltlich der Zustimmung der Genehmigungsbehörde dafür entscheiden, dass die Nachweisprüfungen ungeachtet Nummer 9.3.3.7.1 an einer vollständigen nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine oder Maschine durchgeführt werden, entweder indem diese auf einen passenden Prüfstand gestellt wird oder indem sie auf einer Prüfstrecke unter kontrollierten Bedingungen betrieben wird.

9.3.4. Der Nachweis der Aktivierung des Warnsystems gilt als erbracht, wenn am Ende jeder Nachweisprüfung, die gemäß Nummer 9.3.3 durchgeführt wurde, das Warnsystem ordnungsgemäß aktiviert wurde und der Diagnose-Fehlercode für den gewählten Fehler den Status „bestätigt und aktiv“ hat.

9.3.5 Wird ein Partikelnachbehandlungssystem, das mit einem Reagens arbeitet, einer Prüfung zum Nachweis des Funktionsverlusts des Partikelnachbehandlungssystems oder der Entfernung des Partikelnachbehandlungssystems unterzogen, so muss auch bestätigt werden, dass die Reagens-Zufuhr unterbrochen wurde.

▼B

*ANHANG V*

**Messungen und Prüfungen hinsichtlich des zum jeweiligen stationären Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte gehörenden Bereichs**

1. **Allgemeine Anforderungen**

Dieser Anhang gilt für elektronisch gesteuerte Motoren der Klassen NRE, NRG, IWP, IWA, und RLR, die die Emissionsgrenzwerte der „Stufe V" gemäß Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 einhalten und die sowohl die Menge als auch den Zeitpunkt der Einspritzung des Kraftstoffs elektronisch steuern oder die die Emissionsminderungsanlage, die zur Minderung von $NO_x$ dient, mit einer elektronischen Steuerung einschalten, ausschalten oder modulieren.

Dieser Anhang enthält die technischen Anforderungen an den Bereich im Zusammenhang mit den einschlägigen NRSC, innerhalb dessen der Wert, um den die Emissionen die Emissionsgrenzwerte nach Anhang II überschreiten dürfen, überwacht wird.

Wird ein Motor auf die Art und Weise geprüft, die den Prüfungsanforderungen in Abschnitt 4 entspricht, so dürfen die an jedem zufällig ausgewählten Punkt innerhalb des geltenden Regelbereichs nach Abschnitt 2 gemessenen Emissionen die anzuwendenden Emissionsgrenzwerte in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 multipliziert mit dem Faktor 2,0 nicht übersteigen.

Abschnitt 3 enthält die zusätzlichen Messpunkte, die vom technischen Dienst aus dem Prüfbereich während der Emissionsprüfung auf dem Prüfstand ausgewählt wurden, um nachzuweisen, dass die Anforderungen dieses Abschnitts 1 erfüllt wurden.

Der Hersteller kann beantragen, dass der technische Dienst während des Nachweises gemäß Abschnitt 3 Betriebspunkte von jedem der in Abschnitt 2 aufgeführten Prüfbereiche ausschließt. Der technische Dienst kann diesem Antrag stattgegeben, wenn der Hersteller nachweisen kann, dass der Motor in gleich welcher Kombination von einer nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine mit einer nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine solche Punkte niemals erreichen kann.

Die Einbauanweisungen des Herstellers an den OEM gemäß Anhang XIV müssen die oberen und unteren Grenzen des geltenden Prüfbereichs angeben und eine Erklärung enthalten, in der klargestellt wird, dass der OEM den Motor nicht so einbauen darf, dass der Motor zwangsläufig ständig nur bei Drehzahl- und Belastungspunkten arbeitet, die außerhalb des Prüfbereichs für die Drehmomentkurve des genehmigten Motortyps oder der genehmigten Motorenfamilie liegen.

2. **Motorprüfbereich**

Der für die Durchführung der Motorprüfung geltende Prüfbereich ist der in diesem Abschnitt 2 aufgeführte Bereich, der dem anzuwendenden NRSC für den geprüften Motor entspricht.

2.1. Prüfbereich für Motoren, die nach dem NRSC-Zyklus C1 geprüft werden

Diese Motoren werden mit variablen Drehzahlen und Lasten betrieben. Es gelten verschiedene Ausschlüsse von den Prüfbereichen, abhängig von der (Unter-)Klasse und der Betriebsdrehzahl des Motors.

▼B

2.1.1. Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRE mit einer Nettohöchstleistung ≥ 19 kW, Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse IWA mit einer Nettohöchstleistung ≥ 300 kW, Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse RLR und Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRG.

Der Prüfbereich (siehe Abbildung 5.1) ist wie folgt festgelegt:

obere Drehmomentgrenze: Volllast-Drehmomentkurve;

Drehzahlbereich: Drehzahl A bis $n_{hi}$;

Dabei gilt:

Drehzahl A = $n_{lo}$ + 0,15 × ($n_{hi}$ − $n_{lo}$);

$n_{hi}$ = hohe Drehzahl [siehe Artikel 1 Absatz 12],

$n_{lo}$ = niedrige Drehzahl [siehe Artikel 1 Absatz 13].

Die folgenden Motorbetriebsbedingungen werden bei der Prüfung nicht berücksichtigt:

a) Punkte unterhalb von 30 % des größten Drehmoments;

b) Punkte unterhalb von 30 % der Höchstleistung.

Liegt die Abweichung der gemessenen Motordrehzahl A von der vom Hersteller angegebenen Motordrehzahl bei höchstens ± 3 %, so sind die angegebenen Motordrehzahlen zu verwenden. Liegen sie für eine Prüfdrehzahl außerhalb des Toleranzbereichs, werden die gemessenen Motordrehzahlen verwendet.

Zwischenprüfpunkte innerhalb des Prüfbereichs werden wie folgt festgelegt:

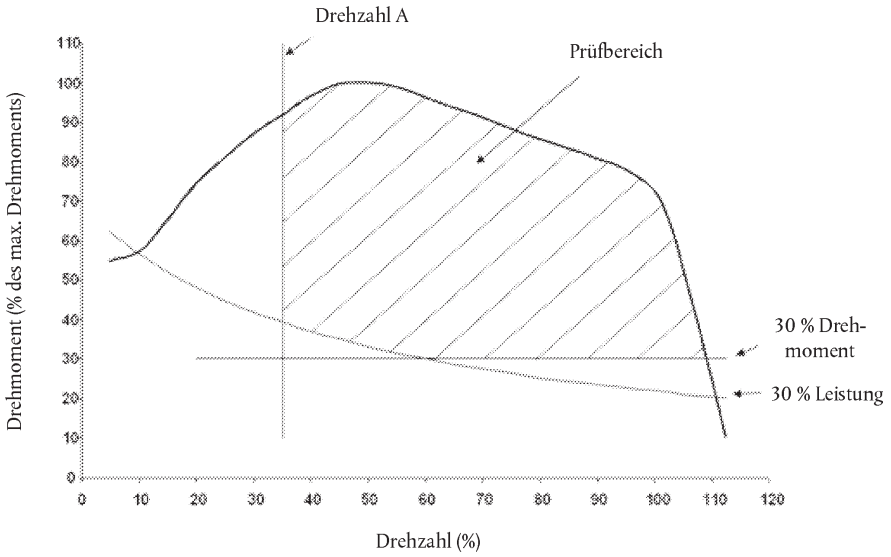
*%Drehmoment* = % des größten Drehmoments;

$$\%\text{Drehzahl} = \frac{(n - n_{idle})}{(n_{100\%} - n_{idle})} \cdot 100;$$

dabei gilt: ist die 100 %-Drehzahl des entsprechenden Prüfzyklus.

*Abbildung 5.1*

**Prüfbereich für Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRE mit einer Nettohöchstleistung ≥ 19 kW, Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse IWA mit einer Nettohöchstleistung ≥ 300 kW, und Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRG**



▼B

2.1.2. Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRE mit einer Nettohöchstleistung ≥ 19 kW und Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse IWA mit einer Nettohöchstleistung ≥ 300 kW

Der in Nummer 2.1.1 angegebene Prüfbereich gilt, jedoch zusätzlich unter Ausschluss der in dieser Nummer angegebenen und in den Abbildungen 5.2 und 5.3 veranschaulichten Motorbetriebsbedingungen:

a) nur für Partikelmaterie, wenn die Drehzahl C unter 2 400 r/min liegt, rechts oder unter der Linie liegt, die die Punkte 30 % des größten Drehmoments oder 30 % der Höchstleistung (je nachdem, welche Zahl höher ist) mit der Drehzahl B und 70 % der Nettohöchstleistung bei hoher Drehzahl verbindet;

b) nur für Partikelmaterie, wenn die Drehzahl C bei oder über 2 400 r/min liegt, rechts der Linie liegt, die die Punkte 30 % des größten Drehmoments oder 30 % der Höchstleistung (je nachdem, welche Zahl höher ist) mit der Drehzahl B und 50 % der Nettohöchstleistung bei 2 400 r/min und 70 % der Nettohöchstleistung bei hoher Drehzahl verbindet.

Dabei gilt:

Drehzahl B = $n_{lo}$ + 0,5 × ($n_{hi}$ − $n_{lo}$);

Drehzahl C = $n_{lo}$ + 0,75 × ($n_{hi}$ − $n_{lo}$);

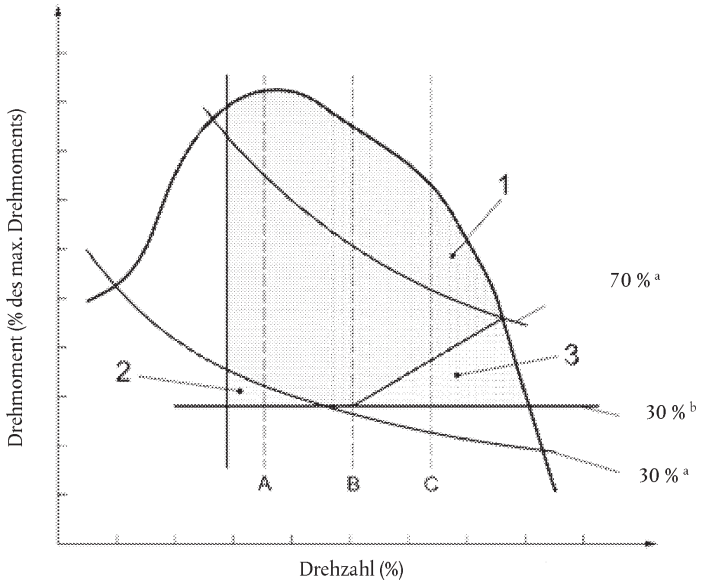
$n_{hi}$ = hohe Drehzahl [siehe Artikel 1 Absatz 12],

$n_{lo}$ = niedrige Drehzahl [siehe Artikel 1 Absatz 13].

Liegt die Abweichung der gemessenen Motordrehzahlen A, B und C von der vom Hersteller angegebenen Motordrehzahl bei höchstens ± 3 %, so sind die angegebenen Motordrehzahlen zu verwenden. Liegen sie für eine Prüfdrehzahl außerhalb des Toleranzbereichs, werden die gemessenen Motordrehzahlen verwendet.

*Abbildung 5.2*

**Prüfbereich für Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRE mit einer Nettohöchstleistung < 19 kW und Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse IWA mit einer Nettohöchstleistung < 300 kW, Drehzahl C < 2 400 rpm**



▼B

*Legende:*

1 Motorprüfbereich

2 Ausnahmeregelung alle Emissionen

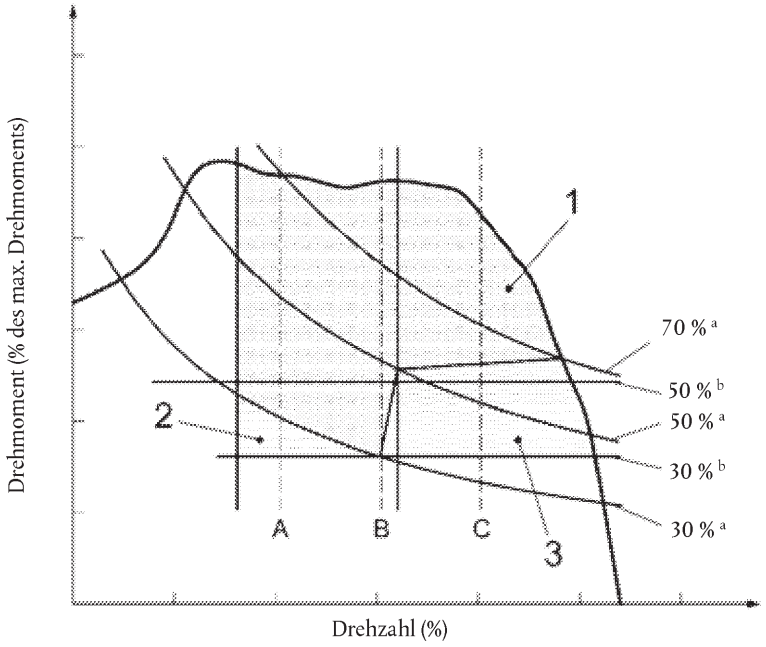
3 PM-Ausnahmeregelung

[a] % der Höchstleistung:

[b] % des größten Drehmoments

*Abbildung 5.3*

**Prüfbereich für Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse NRE mit einer Nettohöchstleistung < 19 kW und Motoren mit variabler Drehzahl der Klasse IWA mit einer Nettohöchstleistung < 300 kW, Drehzahl C ≥ 2 400 rpm**




*Legende*

1 Motorprüfbereich

2 Ausnahmeregelung alle Emissionen

3 PM-Ausnahmeregelung

[a] % der höchsten Nutzleistung:

[b] % des größten Drehmoments

2.2. Prüfbereich für Motoren, die nach den NRSC-Zyklen D2, E2 und G2 geprüft werden

Diese Motoren werden hauptsächlich nahe ihrer festgelegten Betriebsdrehzahl betrieben, daher wird der Prüfbereich wie folgt definiert:

Drehzahl: 100 %

Drehmomentbereich: 50 % des Drehmoments, das der Höchstleistung entspricht.

▼B

2.3. Prüfbereich für Motoren, die nach dem NRSC-Zyklus E3 geprüft werden

Diese Motoren werden hauptsächlich etwas über und unter einer festgelegten Propellerkurve betrieben. Der Prüfbereich hängt mit der Propellerkurve zusammen und weist Exponenten mathematischer Gleichungen auf, die die Grenzen des Prüfbereichs definieren. Der Prüfbereich wird wie folgt definiert:

Untere Drehzahlgrenze: $0{,}7 \times n_{100\ \%}$

Kurve der oberen Grenze: $\%\ Leistung = 100 \times \cdot(\ \%\ Drehzahl/90)^{3{,}5}$;

Kurve der unteren Grenze: $\%\ Leistung = 70 \times \cdot(\ \%\ Drehzahl/100)^{2{,}5}$;

Obere Grenze der Leistung: Nennleistungskurve bei Volllast

Obere Grenze der Drehzahl: Vom Regler zugelassene maximale Drehzahl:

Dabei gilt:

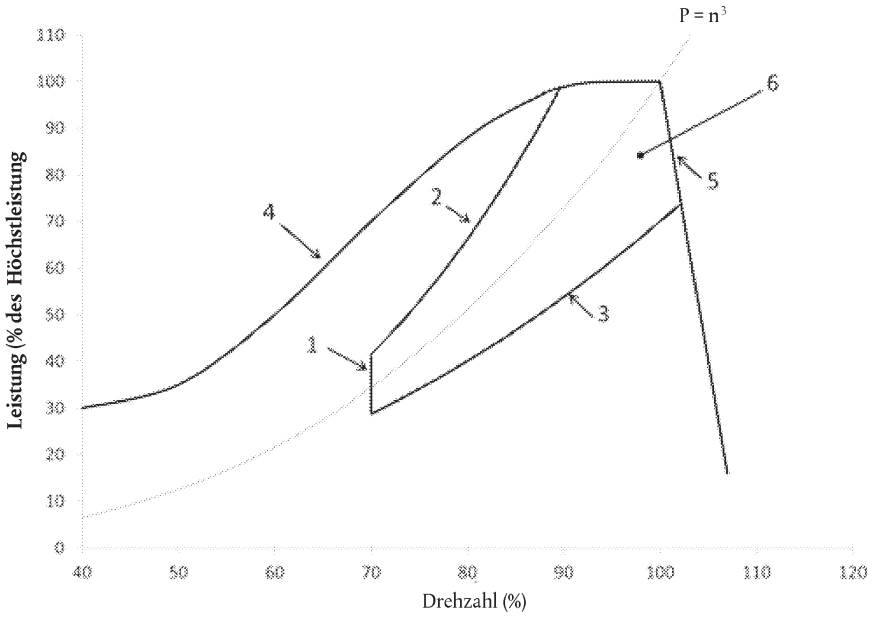
*%Leistung* ist % der höchsten Nutzleistung;

*% Drehzahl* ist % von $n_{100\ \%}$

$n_{100\ \%}$ ist die 100 %-Drehzahl des entsprechenden Prüfzyklus.

*Abbildung 5.4*

**Prüfbereich für Motoren, die nach dem NRSC-Zyklus E3 geprüft werden**




*Legende:*

1 Untere Grenze der Drehzahl:

2 Kurve der oberen Grenze:

3 Kurve der unteren Grenze:

4 Nennleistungskurve bei Volllast

5 Kurve der vom Regler zugelassenen maximalen Drehzahl

6 Motorprüfbereich

▼B

3. **Nachweisanforderungen**

Der technische Dienst wählt nach dem Zufallsprinzip zu Prüfzwecken innerhalb des Steuerbereichs Last- und Drehzahlpunkte aus. Für Motoren nach Nummer 2.1 sind bis zu drei Punkte auszuwählen. Für Motoren nach Nummer 2.2 ist ein Punkt auszuwählen. Für Motoren nach den Nummern 2.3 oder 2.4 sind bis zu zwei Punkte auszuwählen. 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.

4. **Prüfanforderungen**

Die Prüfung ist unmittelbar im Anschluss an die Einzelphasen-NRSC wie folgt durchzuführen.

a) Die Prüfung wird unmittelbar nach den Einzelphasen-NRSC gemäß der Beschreibung in Anhang VI Nummer 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 stationären Mehrphasen-Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte (RMC) nach Anhang VI Nummer 7.8.2.3 Buchstaben a bis d, jedoch gegebenenfalls vor den Verfahren nach der Prüfung (e);

b) die Prüfungen werden nach den Vorschriften des Anhangs VI Nummer 7.8.1.2 Buchstaben b bis e mit der Mehrfiltermethode (ein Filter für jeden Prüfpunkt) für jeden der gemäß Abschnitt 3 ausgewählten Prüfpunkte durchgeführt;

c) Für jeden Prüfpunkt wird ein spezifischer Emissionswert (in g/kWh oder gegebenenfalls #kWH) berechnet.

d) Emissionswerte können auf Massebasis gemäß Anhang VII Abschnitt 2 oder auf Molbasis gemäß Anhang VII Abschnitt 3 berechnet werden, müssen jedoch mit dem für die Messung bei der Einzelphasen-NRSC- oder -RMC-Prüfung gewählten Verfahren übereinstimmen.

e) für Berechnungen zur Bestimmung der Gas- und Partikelzahlsummen wird $N_{mode}$ in Gleichung 7-63 auf 1 gesetzt und der Gewichtungsfaktor 1 verwendet;

f) für Berechnungen der Partikelzahl wird die Mehrfiltermethode verwendet; für Berechnungen zur Bestimmung der Summen wird $N_{mode}$ in Gleichung 7-64 auf 1 gesetzt und der Gewichtungsfaktor 1 verwendet.

▼B

*ANHANG VI*

**Durchführung von Emissionsprüfungen und Anforderungen an die Messeinrichtung**

1. **Einleitung**

In diesem Anhang werden das Verfahren zur Bestimmung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus dem zu prüfenden Motor und die Anforderungen an die Messeinrichtung beschrieben. Ab Abschnitt 6 stimmt die Nummerierung in diesem Anhang mit der Nummerierung in der globalen technischen Regelung (GTR) 11 und der UNECE-Regelung Nr. 96, Änderungsserie 03 Anhang 4B für mobile Maschinen und Geräte, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind (NRMM), überein. Einige Punkte der GTR 11 für NRMM werden für diesen Anhang jedoch nicht benötigt oder werden darin an den technischen Fortschritt angepasst.

2. **Allgemeiner Überblick**

Dieser Anhang enthält folgende für die Durchführung einer Emissionsprüfung notwendigen technischen Vorschriften. Zusätzliche Bestimmungen sind unter Nummer 3 aufgeführt.

— Abschnitt 5: Leistungsanforderungen, einschließlich der Bestimmung der Prüfdrehzahlen

— Abschnitt 6: Prüfbedingungen einschließlich des Verfahrens zur Berücksichtigung der Emissionen von Kurbelgehäusegasen und des Verfahrens zur Bestimmung und Berücksichtigung der kontinuierlichen und sporadischen Regenerierung von Abgasnachbehandlungssystemen

— Abschnitt 7: Prüfverfahren einschließlich der Erstellung von Motorabbildungen und Prüfzyklen sowie des Durchführungsverfahrens für die Prüfzyklen

— Abschnitt 8: Messverfahren einschließlich Kalibrierung der Messeinrichtung, Leistungsprüfungen und Validierung der Messgeräte für die Prüfung

— Abschnitt 9: Messeinrichtung einschließlich Messgeräte, Verdünnungsverfahren, Probenahmeverfahren sowie Analysegase und Massenormale

— Anlage 1: Verfahren zur Messung der Partikelzahl

3. **Damit zusammenhängende Anhänge**

— Datenauswertung und Berechnung: Anhang VII

— Prüfverfahren für Zweistoffmotoren: Anhang VIII

— Bezugskraftstoffe: Anhang IX

— Prüfzyklen: Anhang XVII

4. **Allgemeine Anforderungen**

Die zu prüfenden Motoren erfüllen bei Prüfung unter den Bedingungen gemäß Abschnitt 6 und nach den Verfahren gemäß Abschnitt 7 die Leistungsanforderungen gemäß Abschnitt 5.

▼B

5. **Leistungsanforderungen**

5.1. Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln sowie von $CO_2$ und $NH_3$

Schadstoffe sind:

a) Stickoxide, $NO_x$

b) Kohlenwasserstoffe, ausgedrückt als sämtliche Kohlenwasserstoffe, HC oder THC

c) Kohlenmonoxid, CO

d) Partikel (particulate matter, PM)

e) Partikelzahl, PN

Die gemessenen Werte für vom Motor ausgestoßene gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel sowie von $CO_2$ beziehen sich auf die bremsspezifischen Emissionen in Gramm je Kilowattstunde (g/kWh).

Zu messen sind gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel, die Grenzwerten unterliegen, welche gemäß Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 für die geprüfte Motorenunterklasse gelten. Die Ergebnisse, einschließlich des Verschlechterungsfaktors gemäß Anhang III dürfen die geltenden Grenzwerte nicht überschreiten.

Die $CO_2$-Werte sind gemäß Artikel 41 Absatz 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 für alle Motorenunterklassen zu messen und zu melden.

Zusätzlich sind gemäß Anhang IV Abschnitt 3 die mittleren Emissionen von Ammoniak ($NH_3$) zu messen, wenn bei den Maßnahmen zur Verminderung der $NO_x$-Emissionen im Rahmen des Emissionsminderungssystems des Motors ein Reagens zum Einsatz kommt; die Ammoniakemissionen dürfen die in diesem Abschnitt aufgeführten Werte nicht überschreiten.

Die Emissionen sind für die Arbeitszyklen (stationäre und/oder dynamische Prüfzyklen) gemäß der Beschreibung in Abschnitt 7 und Anhang XVII zu bestimmen. Die Messeinrichtungen müssen die Kalibrierungs- und Leistungsprüfungen nach Abschnitt 8 mit den in Abschnitt 9 beschriebenen Messgeräten bestehen.

Andere Systeme oder Analysatoren können von der Genehmigungsbehörde zugelassen werden, wenn mit ihnen erwiesenermaßen gleichwertige Ergebnisse gemäß Nummer 5.1.1 erzielt werden. Die Ergebnisse werden gemäß den Vorschriften von Anhang VII berechnet.

5.1.1. Gleichwertigkeit

Die Gleichwertigkeit von Systemen ist durch eine sieben oder mehr Probenpaare umfassende Korrelationsstudie zwischen dem zu prüfenden System und einem der Bezugssysteme dieses Anhangs zu ermitteln. „Ergebnisse“ sind hier die über den jeweiligen Zyklus gewichteten Emissionswerte. Die Korrelationsprüfungen sind im selben Labor, in derselben Prüfzelle, mit demselben Motor und vorzugsweise gleichzeitig durchzuführen. Die Gleichwertigkeit der Mittelwerte der Probenpaare ist, wie in Anhang VII Anlage 3 beschrieben, mittels F-Test- bzw. t-Test-Statistiken zu ermitteln, welche unter den oben beschriebenen Bedingungen in Bezug auf Labor, Prüfzelle und Motor gewonnen wurden. Ausreißer sind nach ISO 5725 festzustellen und bleiben unberücksichtigt. Die für die Korrelationsprüfungen heranzuziehenden Systeme müssen von der Genehmigungsbehörde genehmigt werden.

▼B

5.2. Allgemeine Anforderungen an die Prüfzyklen

5.2.1. Die EU-Typgenehmigungsprüfung ist unter Verwendung des geeigneten NRSC und gegebenenfalls des geeigneten NRTC oder LSI-NRTC gemäß Artikel 24 der Verordnung (EU) 2016/1628 und Anhang IV derselben Verordnung durchzuführen.

5.2.2. Die technischen Spezifikationen und Eigenschaften der NRSC sind in Anhang XVII Anlage 1 (Einzelphasen-NRSC) und Anlage 2 (gestufter modaler NRSC) festgelegt. Nach Wahl des Herstellers kann eine NRSC-Prüfung als NRSC mit Einzelphasen oder, wenn verfügbar, als gestufter NRSC (im Folgenden „RMC“) gemäß Nummer 7.4.1 durchgeführt werden.

5.2.3. Die technischen Anforderungen und Merkmale des NRTC und des LSI-NRTC sind in Anhang XVII Anlage 3 festgelegt.

5.2.4. Die Prüfzyklen nach Nummer 7.4 und Anhang XVII beruhen auf Prozentwerten des maximalen Drehmoments oder der maximalen Leistung und auf den zwecks korrekter Ausführung der Prüfzyklen zu bestimmenden Prüfdrehzahlen:

a) 100 % Drehzahl (maximale Prüfdrehzahl oder Nenndrehzahl)

b) Zwischendrehzahlen gemäß Nummer 5.2.5.4

c) Leerlaufdrehzahl gemäß Nummer 5.2.5.5

Die Bestimmung der Prüfdrehzahlen ist unter Nummer 5.2.5, die Verwendung der Drehmoment- und Leistungswerte unter Nummer 5.2.6 beschrieben.

5.2.5. Prüfdrehzahlen

5.2.5.1. Maximale Prüfdrehzahl (maximum test speed, MTS)

Die maximale Prüfdrehzahl ist gemäß Nummer 5.2.5.1.1 oder 5.2.5.1.3 zu berechnen.

5.2.5.1.1. Berechnung der maximalen Prüfdrehzahl

Die Berechnung der maximalen Prüfdrehzahl erfolgt nach dem dynamischen Abbildungsverfahren nach Nummer 7.4. Die maximale Prüfdrehzahl wird anschließend ausgehend von den abgebildeten, auf die Leistung bezogenen Drehzahlwerten bestimmt. MTS ist nach der Gleichung 6-1, 6-2 oder 6-3 zu berechnen:

▼C2

a) $MTS = n_{lo} + 0{,}95 \times (n_{hi} - n_{lo})$ (6-1)

▼B

b) $MTS = n_i$ (6-2)

dabei ist:

$n_i$ der Durchschnitt aus den niedrigsten und höchsten Drehzahlwerten, bei dem $(n^2_{normi} + P^2_{normi})$ 98 % des Höchstwertes von $(n^2_{normi} + P^2_{normi})$ beträgt

c) Ist der Wert von $(n^2_{normi} + P^2_{normi})$ nur bei einer Drehzahl gleich 98 % des Höchstwertes von $(n^2_{normi} + P^2_{normi})$, gilt:

$MTS = n_i$ (6-3)

▼B

Dabei ist:

$n_i$ die Drehzahl, bei der ($n^2_{normi} + P^2_{normi}$) seinen Höchstwert erreicht,

wobei gilt:

$n$ = Drehzahl

$i$ = Indizierungsvariable, die für einen aufgezeichneten Wert auf einer Motorabbildungskurve steht

$n_{hi}$ = hohe Drehzahl gemäß der Definition in Artikel 2 Absatz 12

$n_{lo}$ = niedrige Drehzahl gemäß der Definition in Artikel 2 Absatz 13

$n_{normi}$ = ein durch Division durch $n_{Pmax}$ normierter Drehzahlwert $n_{P_{max}}$

$P_{normi}$ = ein durch Division durch $P_{max}$ normierter Motorleistungswert

$n_{Pmax}$ = der Durchschnitt der höchsten und niedrigsten Drehzahlwerte, bei denen die Leistung 98 % von $P_{max}$ beträgt

Folgende Werte sind durch lineare Interpolation zwischen den aufgezeichneten Werten zu bestimmen:

a) die Drehzahlwerte, bei denen die Leistung 98 % von $P_{max}$ beträgt. Beträgt die Leistung nur bei einem Drehzahlwert 98 % von $P_{max}$, ist $n_{P_{max}}$ die Drehzahl, bei der $P_{max}$ erreicht wird

b) die Drehzahlwerte, bei denen ($n^2_{normi} + P^2_{normi}$) 98 % des Höchstwertes von ($n^2_{normi} + P^2_{normi}$) beträgt

5.2.5.1.2. Verwendung einer angegebenen MTS

Weicht die gemäß Nummer 5.2.5.1.1 oder 5.2.5.1.3 berechnete maximale Prüfdrehzahl um nicht mehr als ± 3 % von der vom Hersteller angegebenen maximalen Prüfdrehzahl ab, kann die angegebene maximale Prüfdrehzahl für die Emissionsprüfung verwendet werden. Wird die Toleranz überschritten, ist für die Emissionsprüfung die gemessene maximale Prüfdrehzahl zu verwenden.

5.2.5.1.3. Verwendung einer angepassten maximalen Prüfdrehzahl

Ein sehr steiler Verlauf des fallenden Teils der Volllastkurve kann zu Problemen beim korrekten Betrieb mit den 105 % der Drehzahlen des NRTC führen. In diesem Fall kann mit vorherigem Einverständnis des technischen Dienstes ein alternativer Wert der maximalen Prüfdrehzahl verwendet werden, der mit einem der folgenden Verfahren bestimmt wurde:

a) Die maximale Prüfdrehzahl darf leicht (um höchstens 3 %) verringert werden, um eine korrekte Durchführung des NRTC zu ermöglichen.

▼B

b) Mithilfe der Gleichung 6-4 kann eine alternative maximale Prüfdrehzahl errechnet werden:

$$MTS = ((n_{max} — n_{idle})/1{,}05) + n_{idle} \quad (6\text{-}4)$$

wobei gilt:

$n_{max}$ = Drehzahl, auf der die Motorreglerfunktion die Drehzahl bei maximaler Bedieneingabe und bei Nulllast einstellt („höchste Drehzahl ohne Last“)

$n_{idle}$ = Leerlaufdrehzahl

5.2.5.2. Nenndrehzahl

Die Nenndrehzahl ist in Artikel 3 Absatz 29 der Verordnung (EU) 2016/1628 festgelegt. Bei Emissionsprüfungen von Motoren mit variabler Drehzahl ist die Nenndrehzahl mithilfe des anzuwendenden Abbildungsverfahrens nach Abschnitt 7.6 zu bestimmen. Die Nenndrehzahl für Motoren mit konstanter Drehzahl ist vom Hersteller entsprechend den Eigenschaften des Reglers anzugeben. Bei Emissionsprüfungen eines Motors, bei dem, wie nach Artikel 3 Absatz 21 der Verordnung (EU) 2016/1628 zulässig, mehrere Drehzahlen eingestellt werden können, ist jeder der Drehzahlwerte anzugeben und es ist bei jedem von ihnen zu prüfen.

Weicht die mithilfe des Abbildungsverfahrens nach Abschnitt 7.6 ermittelte Nenndrehzahl bei Motoren der Klasse NRS mit Drehzahlregler um nicht mehr als ± 150 rpm, bei Motoren der Klasse NRS ohne Drehzahlregler um nicht mehr als ± 350 rpm oder ± 4 %, je nachdem, welcher Wert niedriger ist, und bei allen anderen Motorenklassen um nicht mehr als ± 100 rpm von dem vom Hersteller angegebenen Wert ab, kann der angegebene Wert verwendet werden. Wird die Toleranz überschritten, ist die mithilfe des Abbildungsverfahrens ermittelte Nenndrehzahl zu verwenden.

Bei Motoren der Klasse NRSh darf die Prüfdrehzahl um höchstens ± 350 rpm von der Nenndrehzahl abweichen.

Optional kann in allen stationären Prüfzyklen anstelle der Nenndrehzahl die maximale Prüfdrehzahl verwendet werden.

5.2.5.3. Drehzahl des maximalen Drehmoments bei Motoren mit variabler Drehzahl

Bei der Drehzahl des maximalen Drehmoments, bestimmt anhand der nach dem geltenden Motorabbildungsverfahren gemäß Nummer 7.6.1 oder 7.6.2 erstellten Kurve des maximalen Drehmoments, muss es sich um einen der folgenden Werte handeln:

a) die Drehzahl, bei der das höchste Drehmoment auftrat, oder

b) den Durchschnitt der höchsten und niedrigsten Drehzahlwerte, bei denen das Drehmoment 98 % des maximalen Drehmoments beträgt. Falls erforderlich, sind die Drehzahlwerte, bei denen das Drehmoment 98 % des maximalen Drehmoments beträgt, durch lineare Interpolation zu bestimmen.

▼B

Weicht die anhand der Kurve des maximalen Drehmoments bestimmte Drehzahl des maximalen Drehmoments bei Motoren der Klasse NRS oder NRSh um nicht mehr als ± 4 % und bei Motoren aller übrigen Klassen um nicht mehr als ± 2,5 % von dem vom Hersteller angegebenen Wert ab, kann für die Zwecke dieser Verordnung der angegebene Wert verwendet werden. Wird die Toleranz überschritten, ist die anhand der Kurve des maximalen Drehmoments bestimmte Drehzahl des maximalen Drehmoments zu verwenden.

5.2.5.4. Zwischendrehzahl

Die Zwischendrehzahl muss eine der folgenden Anforderungen erfüllen:

a) Bei Motoren, die für den Betrieb in einem Drehzahlbereich auf einer Vollast-Drehmomentkurve ausgelegt sind, ist die Zwischendrehzahl die Drehzahl bei maximalem Drehmoment, wenn diese innerhalb eines Bereichs von 60 % bis 75 % der Nenndrehzahl liegt.

b) Beträgt die Drehzahl bei maximalem Drehmoment weniger als 60 % der Nenndrehzahl, entspricht die Zwischendrehzahl 60 % der Nenndrehzahl.

c) Beträgt die Drehzahl bei maximalem Drehmoment mehr als 75 % der Nenndrehzahl, entspricht die Zwischendrehzahl 75 % der Nenndrehzahl. Wenn der Motor nur bei Drehzahlen von mehr als 75 % der Nenndrehzahl betrieben werden kann, ist die Zwischendrehzahl die niedrigste Drehzahl, mit der der Motor betrieben werden kann.

d) Bei Motoren, die nicht für den Betrieb in einem Drehzahlbereich auf einer Vollast-Drehmomentkurve unter stationären Bedingungen ausgelegt sind, beträgt die Zwischendrehzahl 60 % bis 70 % der Nenndrehzahl.

e) Für mit dem Zyklus G1 zu prüfende Motoren, ausgenommen Motoren der Klasse ATS, beträgt die Zwischendrehzahl 85 % der Nenndrehzahl.

f) Für Motoren mit dem Zyklus G1 zu prüfende Motoren der Klasse ATS beträgt die Zwischendrehzahl 60 % oder 85 % der Nenndrehzahl, je nachdem, welcher Wert näher an der tatsächlichen Drehzahl des maximalen Drehmoments liegt.

Wird als 100 %-Prüfdrehzahl anstatt der Nenndrehzahl die maximale Prüfdrehzahl (MTS) verwendet, ist auch bei der Bestimmung der Zwischendrehzahl die MTS anstelle der Nenndrehzahl heranzuziehen.

5.2.5.5. Leerlaufdrehzahl

Die Leerlaufdrehzahl ist die niedrigste Motordrehzahl bei kleinster Last (größer oder gleich Nulllast), 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 warmgelaufenen Motors.

▼B

5.2.5.6. Prüfdrehzahl für Motoren mit konstanter Drehzahl

Die Regler von Motoren mit konstanter Drehzahl halten möglicherweise die Drehzahl nicht immer genau konstant. Üblicherweise kann die Drehzahl (um 0,1 % bis 10 %) unter die Drehzahl bei Nulllast abfallen, sodass sich die Mindestdrehzahl in der Nähe des Punktes einstellt, an dem der Motor die größte Leistung abgibt. Die Prüfdrehzahl für Motoren mit konstanter Drehzahl kann mit dem eingebauten Regler oder durch entsprechende Eingaben des Prüfstandes, wenn dieser als Motorregler fungiert, gesteuert werden.

Bei Verwendung des eingebauten Reglers gilt als 100- %-Drehzahl die vom Motor geregelte Drehzahl gemäß Artikel 2 Absatz 24.

Wird der Regler durch ein Eingabesignal des Prüfstandes simuliert, ist die 100- %-Drehzahl bei Nulllast die Drehzahl ohne Last, die vom Hersteller für die betreffende Reglereinstellung angegeben wurde, und die 100- %-Drehzahl bei Volllast die Nenndrehzahl für die betreffende Reglereinstellung. Für die übrigen Prüfphasen ist die Drehzahl mittels Interpolation zu bestimmen.

Ist der Regler auf isochronen Betrieb eingestellt oder weichen die vom Hersteller angegebene Nenndrehzahl und die Drehzahl ohne Last um nicht mehr als 3 % ab, ist es zulässig, für alle Belastungspunkte für die 100- %-Drehzahl nur einen vom Hersteller angegebenen Wert zu verwenden.

5.2.6. Drehmoment und Leistung

5.2.6.1. Drehmoment

Bei den Drehmomentangaben in den Prüfzyklen handelt es sich um Prozentwerte, die für die jeweilige Prüfphase eines der folgenden Verhältnisse wiedergeben:

a) das Verhältnis zwischen dem erforderlichen und dem maximal möglichen Drehmoment bei der angegebenen Prüfdrehzahl (alle Zyklen außer D2 und E2)

b) das Verhältnis zwischen dem erforderlichen Drehmoment und dem Drehmoment, das der vom Hersteller angegebenen Nennleistung entspricht (Zyklen D2 und E2)

5.2.6.2. Leistung

Bei den Leistungsangaben in den Prüfzyklen handelt es sich für die jeweilige Prüfungsphase um Prozentwerte einer der folgenden Größen:

a) Für den Prüfzyklus E3 sind die Leistungsangaben Prozentwerte des Höchstwertes der Nutzleistungen bei 100- %-Drehzahl, da dieser Zyklus auf einer theoretischen Propeller-Kennlinie von Schiffen mit Hochleistungsmotoren ohne Längenbegrenzung beruht.

b) Für den Prüfzyklus F sind die Leistungsangaben Prozentwerte der maximalen Nutzleistung bei der jeweiligen Prüfdrehzahl außer bei Leerlaufdrehzahl, wo sie ein Prozentwert der maximalen Nutzleistung bei 100- %-Drehzahl sind.

▼B

6. **Prüfbedingungen**

6.1. Laborbedingungen

Die absolute Temperatur ($T_a$) der Ansaugluft am Motoreinlass in Kelvin und der trockene atmosphärische Druck ($p_s$) in kPa sind zu messen, und die Kennzahl $f_a$ ist gemäß den folgenden Bestimmungen und mithilfe von Gleichung 6-5 oder 6-6 zu ermitteln. 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. 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.

Saugmotoren und mechanisch aufgeladene Motoren:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,7} \quad (6\text{-}5)$$

Motoren mit Turbolader, mit oder ohne Ladeluftkühlung:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0,7} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1,5} \quad (6\text{-}6)$$

6.1.1. Für die Gültigkeit der Prüfung müssen beide nachfolgenden Bedingungen erfüllt sein:

a) $f_a$ muss im Bereich $0,93 \leq f_a \leq 1,07$ liegen, außer in den Fällen nach den Nummern 6.1.2 und 6.1.4.

b) Es muss eine Temperatur der Ansaugluft von 298 ± 5 K (25 ± 5 °C), gemessen oberhalb aller Motorbauteile, aufrechterhalten werden, hierbei gelten die Ausnahmen gemäß den Nummern 6.1.3 und 6.1.4 und die Bestimmungen der Nummern 6.1.5 und 6.1.6.

6.1.2. Wenn das Labor, in dem der Motor getestet wird, auf einer Höhe von über 600 m liegt, darf $f_a$ mit Zustimmung des Herstellers und unter der Bedingung, dass $p_s$ nicht unter 80 kPa beträgt, den Wert 1,07 überschreiten.

6.1.3. Beträgt die Leistung des zu prüfenden Motors mehr als 560 kW, kann der Höchstwert der Ansaugluftemperatur mit Zustimmung des Herstellers über 303 K (30 °C) liegen, darf aber 308 K (35 °C) nicht überschreiten.

6.1.4. Liegt das Labor, in dem der Motor geprüft wird, in einer Höhe von über 300 m und beträgt die Leistung des Motors mehr als 560 kW, kann $f_a$ mit Zustimmung des Herstellers und unter der Bedingung, dass $p_s$ mindestens 80 kPa beträgt, den Wert 1,07 überschreiten, und der Höchstwert der Ansaugluftemperatur darf mehr als 303 K (30 °C), jedoch höchstens 308 K (35 °C) betragen.

6.1.5. Bei einer Motorenfamilie der Klasse NRS mit weniger als 19 kW Leistung, die ausschließlich aus Motoren für Schneeschleudern besteht, ist die Temperatur der Ansaugluft zwischen 273 K und 268 K (0 °C und – 5 °C) zu halten.

▼B

6.1.6. Bei Motoren der Klasse SMB ist die Temperatur der Ansaugluft außer in den Fällen nach Nummer 6.1.6.1 auf 263 ± 5 K (– 10 ± 5 °C) zu halten.

6.1.6.1. Für Motoren der Klasse SMB, bei denen die elektronisch gesteuerte Kraftstoffeinspritzung den Kraftstoffdurchsatz an die Ansaugluftttemperatur anpasst, kann die Temperatur der Ansaugluft nach Wahl des Herstellers alternativ auch auf 298 ± 5 K (25 ± 5 °C) gehalten werden.

6.1.7. Verwendet werden dürfen:

a) ein Luftdruckmessgerät, dessen Ergebnis eine gesamte Prüfeinrichtung mit mehr als einem Leistungsprüfstand als Luftdruckangabe nutzt, sofern das Gerät zur Behandlung der Ansaugluft den Umgebungsdruck dort, wo der Motor geprüft wird, mit einer Genauigkeit von ± 1 kPa auf dem Wert des gemeinsamen Luftdruckmessung hält

b) ein Feuchtigkeitsmessgerät zur Messung der Feuchtigkeit der Ansaugluft für eine gesamte Prüfeinrichtung mit mehr als einem Leistungsprüfstand, sofern die Ausrüstung zur Behandlung der Ansaugluft den Taupunkt dort, wo der Motor geprüft wird, mit einer Genauigkeit von ± 0,5 K 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:

   a) Während der gesamten Prüfung ist am Einlass des Ladeluftkühlers eine Kühlmitteltemperatur von mindestens 20 °C aufrechtzuerhalten.

   b) Bei Nenndrehzahl und unter Volllast ist der Kühlmitteldurchsatz so einzustellen, dass die Lufttemperatur mit einer Genauigkeit von ±5 °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.

   c) 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.

   Wird der Prüfzyklus mit der maximalen Prüfdrehzahl nach Nummer 5.2.5.1 anstatt der Nenndrehzahl durchgeführt, kann dieser Drehzahlwert bei der Einstellung der Ladelufttemperatur anstelle der Nenndrehzahl verwendet werden.

▼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

Die Grundlage für die Messung der spezifischen Emissionen ist die nichtkorrigierte Nutzleistung gemäß der Definition in Artikel 3 Absatz 23 der Verordnung (EU) 2016/1628.

6.3.2. Anzubringende Hilfseinrichtungen

Bei der Prüfung sind die zum Betrieb des Motors erforderlichen Hilfseinrichtungen nach den Vorschriften von Anlage 2 am Prüfstand anzubringen.

Können die notwendigen Hilfseinrichtungen für die Prüfung nicht angebracht werden, ist ihre Leistungsaufnahme zu ermitteln und von der gemessenen Motorleistung abzuziehen.

6.3.3. Auszubauende Hilfseinrichtungen

Bestimmte Hilfseinrichtungen, deren Definition im Zusammenhang mit dem Betrieb der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine oder des mobilen Gerätes steht und die möglicherweise am Motor angebracht sind, 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 Anlage 2). Wenn dieser Wert 3 % der Maximalleistung bei Prüfdrehzahl übersteigt, kann er vom technischen Dienst überprüft werden. Die Leistungsaufnahme der Hilfseinrichtungen ist zur Anpassung der eingestellten Werte und zur Berechnung der vom Motor im Prüfzyklus geleisteten Arbeit gemäß Nummer 7.7.1.3 oder 7.7.2.3.1 heranzuziehen.

6.3.4. Bestimmung der Leistung der Hilfseinrichtungen

Die durch die Hilfseinrichtungen/Vorrichtungen aufgenommene Leistung ist nur zu ermitteln, wenn:

a) die gemäß Anlage 2 erforderlichen Hilfseinrichtungen/Vorrichtungen am Motor nicht angebracht sind

und/oder

b) die gemäß Anlage 2 entbehrlichen Hilfseinrichtungen/Vorrichtungen trotzdem am Motor angebracht sind.

Die Leistungswerte der Hilfseinrichtungen und die Mess-/Berechnungsverfahren zu ihrer Bestimmung müssen vom Motorhersteller für den gesamten Betriebsbereich der zutreffenden Prüfzyklen vorgelegt und von der Genehmigungsbehörde genehmigt werden.

6.3.5. Zyklusarbeit der Motoren

Die Berechnung des Bezugswerts und des Messwerts der Zyklusarbeit (siehe Nummer 7.8.3.4) muss auf der Grundlage der Motorleistung gemäß Nummer 6.3.1 erfolgen. In diesem Fall haben $P_f$ und $P_r$ der Gleichung 6-7 den Wert null und $P$ ist gleich $P_m$.

▼B

Wenn Hilfseinrichtungen/Vorrichtungen gemäß Nummer 6.3.2 und/oder Nummer 6.3.3 angebracht sind, muss die von ihnen aufgenommene Leistung für die Korrektur jedes Momentanwerts der Zyklusleistung $P_{m,i}$ mithilfe von Gleichung 6-8 verwendet werden:

$$P_i = P_{m,i} - P_{f,i} + P_{r,i} \quad (6\text{-}7)$$

$$P_{AUX} = P_{r,i} - P_{f,i} \quad (6\text{-}8)$$

Dabei ist:

$P_{m,i}$ die gemessene Motorleistung in kW

$P_{f,i}$ die Leistungsaufnahme der für die Prüfung anzubringenden, jedoch nicht angebrachten Hilfseinrichtungen/Vorrichtungen in kW

$P_{r,i}$ die Leistungsaufnahme der für die Prüfung abzubauenden, jedoch nicht abgebauten Hilfseinrichtungen/Vorrichtungen in kW

6.4. Ansaugluft des Motors

6.4.1. Einleitung

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. Ladedruckbegrenzung

Es ist ein Motoransaugsystem oder ein Prüfstandsystem zu verwenden, bei dem der Ladedruck auf einen Wert begrenzt ist, der um höchstens ± 300 Pa vom Höchstwert abweicht, den der Hersteller für einen sauberen Luftfilter bei Nenndrehzahl und Volllast angibt. Ist dies aufgrund der Konstruktion des Luftzufuhrsystems des Prüflabors nicht möglich, ist eine Ladedruckbegrenzung, die den vom Hersteller für einen verschmutzten Filter angegebenen Wert nicht überschreitet, mit vorheriger Genehmigung des technischen Dienstes zulässig. Der statische Differenzialdruck der Ladedruckbegrenzung 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.

Wird der Prüfzyklus mit der maximalen Prüfdrehzahl nach Nummer 5.2.5.1 anstatt der Nenndrehzahl durchgeführt, kann dieser Drehzahlwert bei der Einstellung der Ladedruckbegrenzung anstelle der Nenndrehzahl verwendet werden.

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. Die Abgasanlage muss den Anforderungen für die Entnahme von Emissionsproben aus dem Abgas gemäß Nummer 9.3 genügen. Es ist eine Motor- oder Prüfstandabgasanlage zu verwenden, deren statischer Abgasgegendruck im Bereich zwischen 80 % und 100 % der maximalen Abgasdruckbegrenzung bei Nenndrehzahl und Volllast liegt. Die Abgasdruckbegrenzung kann mithilfe eines

▼B

Ventils eingestellt werden. Ist der maximale Abgasdruck auf höchstens 5 kPa begrenzt, darf der Einstellpunkt um nicht mehr als 1,0 kPa vom Maximalwert abweichen. Wird der Prüfzyklus mit der maximalen Prüfdrehzahl nach Nummer 5.2.5.1 anstatt der Nenndrehzahl durchgeführt, kann dieser Drehzahlwert bei der Einstellung der Abgasdruckbegrenzung anstelle der Nenndrehzahl verwendet werden.

6.6. Motor mit Abgasnachbehandlungssystem

Ist der Motor mit einem Abgasnachbehandlungssystem ausgestattet, das nicht direkt am Motor angebaut ist, 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 Auspuffkrümmers oder des Turboladers und dem Abgasnachbehandlungssystem muss so groß sein wie an der mobilen Maschine oder dem mobilen Gerät oder muss innerhalb des vom Hersteller angegebenen Bereichs liegen. Falls vom Hersteller so festgelegt, ist das Rohr zu isolieren, damit die Temperatur am Einlass des Abgasnachbehandlungssystems den Vorgaben des Herstellers entspricht. Sonstige Einbauvorschriften des Herstellers sind in der Prüfanordnung gegebenenfalls zu berücksichtigen. Der Abgasgegendruck oder die Abgasdruckbegrenzung sind gemäß Nummer 6.5 einzustellen. Für Abgas-Nachbehandlungssysteme mit variabler Abgasdruckbegrenzung ist die maximale Begrenzung des Abgasdrucks gemäß Nummer 6.5 für die vom Hersteller spezifizierte Nachbehandlungsbedingung (Fortschritt/Höhe des Einlaufens/der Alterung und der Regenerierung/Beladung) definiert. Für Blindprüfungen und die Motorabbildung kann das Gehäuse der Nachbehandlungseinrichtung entfernt und durch ein gleichartiges Gehäuse 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, ist das für die Prüfungen zu verwendende Reagens vom Hersteller anzugeben.

Bei Motoren der Klassen NRE, NRG, IWP, IWA, RLR, NRS, NRSh, SMB und ATS, die mit einem Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer (periodischer) Regenerierung nach Nummer 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. Für Nachbehandlungssysteme mit einem Regenerierungsprozess, der gemäß Nummer 6.6.1 entweder andauernd oder wenigstens einmal während des anwendbaren dynamischen Prüfzyklus (NRTC oder LSI-NRTC) oder RMC („kontinuierliche Regenerierung“) durchgeführt wird, ist kein spezielles Prüfverfahren erforderlich.

6.6.1. Kontinuierliche Regenerierung

Arbeitet das Abgasnachbehandlungssystemen mit kontinuierlicher Regenerierung, ist es vor der Messung zu stabilisieren, um gleichbleibendes Emissionsverhalten zu gewährleisten. Der Regenerierungsvorgang muss während der Warmstartprüfung mit dem NRTC, LSI-NRTC oder NRSC mindestens einmal ablaufen, und der Hersteller muss die Betriebsparameter angeben, die den Regenerierungsvorgang im Normalfall auslösen (Rußbeladung, Temperatur, Abgasgegendruck

▼B

usw.). Um nachzuweisen, dass die Regenerierung kontinuierlich erfolgt, ist der NRTC, LSI-NRTC oder NRSC mindestens dreimal mit Warmstart durchzuführen. Bei einem NRTC mit Warmstart muss der Motor gemäß Nummer 7.8.2.1 warmlaufen und gemäß Nummer 7.4.2.1 Buchstabe b heiß abgestellt werden; anschließend ist der erste NRTC mit Warmstart durchzuführen.

Vor dem nachfolgenden NRTC mit Warmstart muss der Motor gemäß Nummer 7.4.2.1 Buchstabe b heiß abgestellt 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 ± 25 % oder 0,005 g/kWh, je nachdem welcher Wert höher ist.

6.6.2. Sporadische Regenerierung

Diese Bestimmung gilt nur für Motoren, die mit einem Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer Regenerierung ausgestattet sind, bei dem ein Regenerierungsvorgang typischerweise innerhalb von weniger als 100 Stunden normalen Motorbetriebs stattfindet. Für diese Motoren sind entweder additive oder multiplikative Faktoren für die Anpassung nach oben oder nach unten gemäß Nummer 6.6.2.4 („Anpassungsfaktoren“) zu bestimmen.

Die Erprobung und Entwicklung von Anpassungsfaktoren ist nur für einen anwendbaren dynamischen Prüfzyklus (NRTC oder LSI-NRTC) oder RMC erforderlich. Die entwickelten Faktoren können auf Ergebnisse der anderen anwendbaren Prüfzyklen einschließlich des NRSC mit Einzelphasen angewendet werden.

Stehen keine geeigneten Anpassungsfakturen aus Prüfungen nach dynamischen Prüfzyklen (NRTC oder LSI-NRTC) oder RMC zur Verfügung, sind Anpassungsfaktoren mithilfe einer anwendbaren Einzelphasen-NRSC-Prüfung zu ermitteln. Faktoren, die mithilfe einer Einzelphasen-NRSC-Prüfung entwickelt wurden, dürfen nur auf Einzelphasen-NRSC angewendet werden.

Es ist nicht erforderlich, sowohl nach RMC als auch nach Einzelphasen-NRSC Prüfungen durchzuführen und Anpassungsfaktoren zu entwickeln.

6.6.2.1. Anforderungen für die Ermittlung von Anpassungsfaktoren auf der Grundlage von NRTC-, LSI-NRTC- oder RMC-Prüfungen

Die Emissionen sind bei mindestens drei NRTC-, LSI-NRTC- oder RMC-Prüfläufen mit Warmstart, davon je einer mit und zwei ohne Regenerierung, an einem stabilisierten Nachbehandlungssystem zu messen. Der Regenerierungsvorgang muss während der NRTC-, LSI-NRTC- oder RMC-Prüfung mit Regenerierung mindestens einmal ablaufen. Wenn sich die Regenerierung über mehr als eine NRTC-, LSI-NRTC- oder RMC-Prüfung erstreckt, müssen weitere NRTC-, LSI-NRTC- oder RMC-Prüfungen durchgeführt werden, und die Messung der Emissionen ist ohne Abstellen des Motors bis zum Abschluss der Regeneration fortzusetzen; anschließend ist

▼B

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.

Mithilfe der Gleichungen 6-10 bis 6-13 ist ein geeigneter Anpassungsfaktor für den gesamten anwendbaren Zyklus zu bestimmen.

6.6.2.2. Anforderungen für die Ermittlung von Anpassungsfaktoren auf der Grundlage von Einzelphasen-NRSC-Prüfungen

Beginnend mit einem stabilisierten Abgasnachbehandlungssystem sind die Emissionen in mindestens drei Prüfläufen, davon einer mit und zwei ohne Regenerierung, in jeder Phase des anwendbaren NRSC mit Einzelphasen, in dem die Bedingungen für die Regenerierung erfüllt werden können, zu messen. Die Messung der Partikel ist nach dem Mehrfachfilterverfahren gemäß Nummer 7.8.1.2 Buchstabe c durchzuführen. Falls die Regenerierung begonnen hat, am Ende der Probenahmedauer für eine bestimmte Prüfungsphase jedoch noch nicht abgeschlossen ist, ist die Probenahmedauer bis zum Abschluss der Regenerierung zu verlängern. Werden in derselben Prüfungsphase mehrere Prüfläufe durchgeführt, ist ein Durchschnittsergebnis zu berechnen. Das Verfahren ist für jede einzelne Prüfungsphase zu wiederholen.

Mithilfe der Gleichungen 6-10 bis 6-13 ist für die Phasen des anwendbaren Zyklus, in denen eine Regenerierung erfolgt, ein geeigneter Anpassungsfaktor zu bestimmen.

6.6.2.3. Allgemeines Verfahren für die Entwicklung von Anpassungsfaktoren bei sporadischer Regenerierung (infrequent regeneration adjustment factors, IRAF)

Der Hersteller muss die Parameter, die den Regenerierungsvorgang im Normalfall auslösen (Rußbeladung, 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 Typgenehmigungs- oder Zertifizierungsbehörde nach bestem fachlichen Ermessen abzustimmen.

Für eine Regenerierungsprüfung muss der Hersteller ein schadstoffbeladenes Abgasnachbehandlungssystem zur Verfügung stellen. Während der Motorkonditionierung darf keine Regenerierung stattfinden. Der Hersteller kann wahlweise aufeinanderfolgende Prüfungen nach dem anwendbaren Zyklus durchführen, bis das Abgasnachbehandlungssystem mit Schadstoffen beladen ist. Eine Emissionsmessung ist nicht bei allen Prüfungen erforderlich.

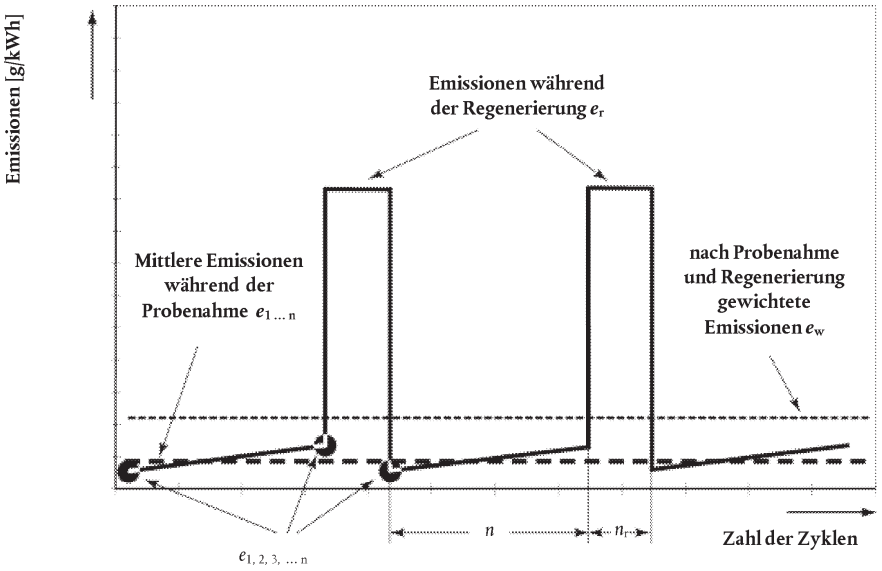
Die mittleren Emissionswerte zwischen zwei Regenerierungen sind das arithmetische Mittel der Ergebnisse mehrerer in annähernd gleichen Zeitabständen durchgeführter Prüfungen nach dem anwendbaren Zyklus. Es ist mindestens ein anwendbarer Zyklus möglichst kurz vor einer Regenerierungsprüfung und ein anwendbarer Zyklus unmittelbar nach einer Regenerierungsprüfung durchzuführen.

Während der Regenerierungsprüfung sind alle zur Erkennung eines Regenerierungsvorgangs notwendigen Daten (CO- oder $NO_x$-Emissionen, Temperatur vor und nach dem Abgasnachbehandlungssystem, Abgasgegendruck usw.) aufzuzeichnen. Während des Regenerierungsvorgangs können die geltenden Emissionsgrenzwerte überschritten werden. Das Prüfverfahren ist in Abbildung 6.1 schematisch dargestellt.

▼B

*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 die Prüfläufe nach Nummer 6.6.2.1 oder 6.6.2.2 [g/kWh oder #/kWh] ist mithilfe der Gleichung 6-9 zu wichten (siehe Abbildung 6.1):

$$\overline{e}_{\mathrm{w}} = \frac{n \cdot \overline{e} + n_{\mathrm{r}} \cdot \overline{e}_{\mathrm{r}}}{n + n_{\mathrm{r}}} \qquad (6\text{-}9)$$

Dabei ist:

n die Anzahl der Prüfungen, bei denen keine Regenerierung stattfindet

$n_r$ die Anzahl der Prüfungen, bei denen eine Regenerierung stattfindet (mindestens eine Prüfung)

$\overline{e}$ der bei einer Prüfung ohne Regenerierung ermittelte durchschnittliche spezifische Emissionswert [g/kWh oder #/kWh]

$\overline{e}_r$ der bei einer Prüfung mit Regenerierung ermittelte durchschnittliche spezifische Emissionswert [g/kWh oder #/kWh]

Nach Wahl des Herstellers kann der Regenerierungsfaktor $k_r$, der den durchschnittlichen Emissionswert angibt, für alle gasförmigen Schadstoffe und, falls ein Grenzwert gilt, für Partikelmaterie und Partikelzahl nach bestem fachlichen Ermessen entweder multiplikativ oder additiv nach den Gleichungen 6-10 bis 6-13 ermittelt werden:

Multiplikativ

$$k_{\mathrm{ru,m}} = \frac{e_{\mathrm{w}}}{e} \qquad \text{(Anpassungsfaktor nach oben)} \qquad (6\text{-}10)$$

$$k_{\mathrm{rd,m}} = \frac{e_{\mathrm{w}}}{e_{\mathrm{r}}} \qquad \text{(Anpassungsfaktor nach unten)} \qquad (6\text{-}11)$$

▼B

Additiv

$k_{ru,a} = e_w — e$ (Anpassungsfaktor nach oben) (6-12)

$k_{rd,a} = e_w — e_r$ (Anpassungsfaktor nach unten) (6-13)

6.6.2.4. Anwendung von Anpassungsfaktoren

Die Anpassungsfaktoren nach oben werden mit den gemessenen Emissionswerten für alle Prüfungen, bei denen keine Regeneration stattgefunden hat, multipliziert oder zu ihnen hinzuaddiert. Die Anpassungsfaktoren 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 Anpassungsfaktor nach oben anzuwenden.

Gemäß Anhang VII und dessen Anlage 5 über die Berechnung der bremsspezifischen Emissionen gilt für den Regenerierungsfaktor Folgendes:

a) Wurde er für einen gesamten gewichteten Zyklus bestimmt, ist er auf die Ergebnisse der anwendbaren gewichteten NRTC, LSI-NRTC und NRSC anzuwenden.

b) Wurde er speziell für die einzelnen Prüfphasen des anwendbaren Einzelphasen-NRSC bestimmt, ist er vor der Berechnung des gewichteten Emissionswertes des Zyklus auf die Ergebnisse jener Einzelphasen des anwendbaren Einzelphasen NRSC anzuwenden, in denen eine Regenerierung stattfindet. In diesem Fall ist zur Messung der Partikelmaterie das Mehrfachfilterverfahren anzuwenden.

c) Er kann für andere Motoren derselben Familie übernommen werden.

d) Er kann mit vorheriger Zustimmung der Genehmigungsbehörde für andere Motorenfamilien innerhalb derselben Familie von Abgasnachbehandlungssystemen nach Anhang IX der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 übernommen werden, wenn der Hersteller anhand technischer Unterlagen nachweist, dass deren Emissionen ähnlich sind.

Es bestehen folgende Optionen:

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 Genehmigungsbehörde 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.

▼B

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

Die für die Prüfung zu verwendenden Bezugskraftstoffe sind in Anhang IX aufgeführt.

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

6.10. Kurbelgehäuseemissionen

Dieser Abschnitt gilt für Motoren der Klassen NRE, NRG, IWP, IWA, RLR, NRS, NRSh, SMB und ATS, die die Emissionsgrenzwerte der Stufe V gemäß Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 erfüllen.

Emissionen, die aus dem Kurbelgehäuse direkt in die Umgebungsluft geleitet werden, sind zu den Auspuffemissionen (physikalisch oder rechnerisch) während der gesamten Dauer der Emissionsprüfungen hinzuzuzählen.

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 dieser Nummer werden Kurbelgehäuseemissionen, die während des gesamten Betriebs oberhalb des Abgasnachbehandlungssystems in das Abgas 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 und der Radius jeder unvermeidbaren Krümmung so groß wie möglich gehalten 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 Abgasnachbehandlungssysteme, unterhalb aller Abgasdrosselungen und mit ausreichendem Abstand vor jeder Probenahmesonde verbunden werden, um vor der Probenahme eine vollkommene Mischung mit den Motorabgasen zu gewährleisten. Das Abgasrohr des Kurbelgehäuses muss in den

▼B

freien Strom des Abgassystems 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. Einleitung

In diesem Kapitel wird das Verfahren zur Messung der bremsspezifischen Emissionen gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus den zu prüfenden Motoren beschrieben. Beim Prüfmotor muss es sich um die Stammmotorkonfiguration für die Motorenfamilie gemäß Anhang IX der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 handeln.

Eine Emissionsprüfung im Labor besteht aus der Messung der Emissionen und anderen, in Anhang XVII aufgeführten Parametern für die Prüfzyklen. Folgende Aspekte werden behandelt:

a) die Laboranordnungen zur Messung der Emissionen (Nummer 7.2)

b) die Verfahren für die Überprüfung vor und nach der Prüfung (Nummer 7.3)

c) die Prüfzyklen (Nummer 7.4)

d) die allgemeine Prüffolge (Nummer 7.5)

e) die Motorabbildung (Nummer 7.6)

f) die Erstellung der Prüfzyklen (Nummer 7.7)

g) das Durchführungsverfahren für die spezifischen Prüfungen (Nummer 7.8)

7.2. Prinzip der Emissionsmessung

Für die Messung der bremsspezifischen Emissionen muss der Motor die entsprechenden, unter Nummer 7.4 definierten Prüfzyklen durchlaufen. Die Messung der bremsspezifischen Emissionen erfordert die Bestimmung der Masse der in den Abgasemissionen enthaltenen Schadstoffe (d. h. HC, CO, $NO_x$ und PM), der Zahl der Partikel in den Abgasemissionen (d. h. PN), der Masse des $CO_2$ in den Abgasemissionen und der entsprechenden Arbeit des Motors.

7.2.1. Masse der Bestandteile

Die Gesamtmasse jedes Bestandteils ist im jeweiligen Prüfzyklus 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 Emissionsprobe-Entnahmestelle 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.

▼B

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 Konzentrationen in der Stichprobe 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 Partikelkonzentration wird die aus einem proportional entnommenen Abgas an einem Filter abgelagerte Partikelmenge durch die Menge des gefilterten Abgases dividiert.

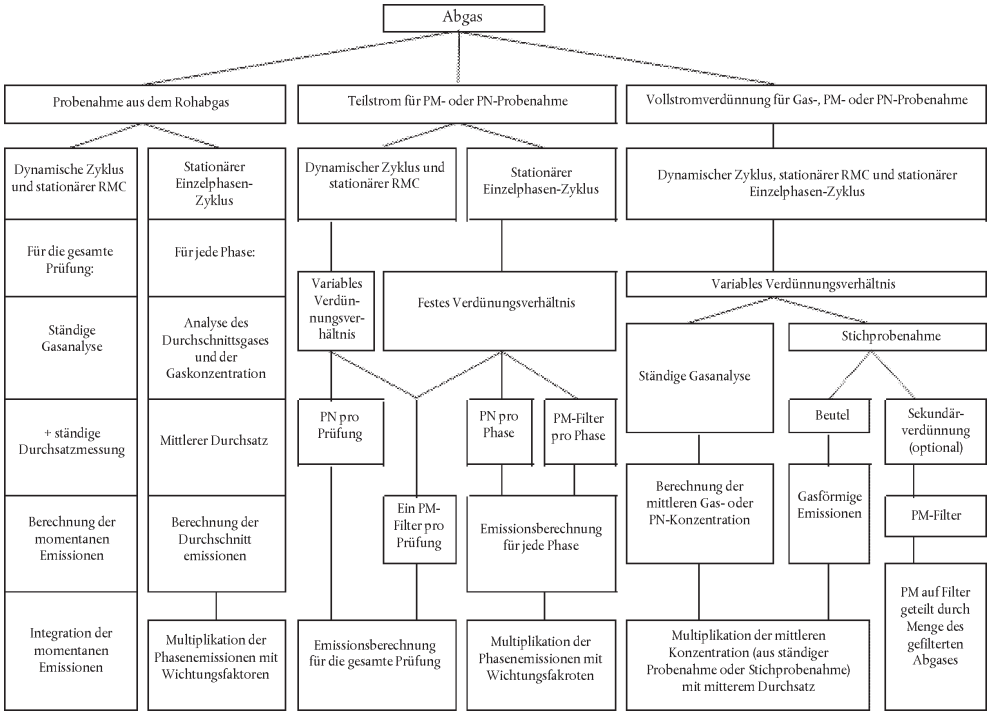
7.2.1.3. Kombinierte Probenahme

Alle Kombinationen aus kontinuierlicher Probenahme und Stichprobenahme sind zulässig (z. B. PM mittels Stichprobenahme und gasförmige Emissionen mittels kontinuierlicher Probenahme).

In Abbildung 6.2 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 6.2*

**Prüfverfahren für die Emissionsmessung**




*Anmerkung zu Abbildung 6.2:* Der Begriff „Teilstrom-PM-Probenahme“ umfasst die Teilstromverdünnung, sodass nur Rohabgas mit festem oder veränderlichem Verdünnungsverhältnis entnommen wird.

▼B

7.2.2. Bestimmung der Arbeit

Die Arbeit ist über den Prüfzyklus zu bestimmen, indem Momentanwerte der Bremsleistung des Motors durch synchrones Multiplizieren von Drehzahl und Bremsmoment 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 zu treffende Maßnahmen

7.3.1.1. Vorkonditionierung

Um stabile Bedingungen herzustellen, sind das Probenahmesystem und der Motor vor Beginn einer Prüffolge wie unter dieser Nummer beschrieben zu konditionieren.

Durch die Vorkonditionierung des Motors sollen die Repräsentativität der Emissionen sowie der emissionsmindernden Einrichtungen im gesamten Lastzyklus erreicht und Verzerrungen reduziert werden, um stabile Bedingungen für die nachfolgende Emissionsprüfung zu erreichen.

In den Vorkonditionierunszyklen können Emissionsmessungen vorgenommen werden, wenn eine vorher festgelegte Zahl von Vorkonditionierungszyklen durchgeführt wird und das Messsystem nach den Vorschriften von Nummer 7.3.1.4 gestartet wurde. Der Umfang der Vorkonditionierung ist vom Motorenhersteller vor Beginn der Vorkonditionierung festzulegen. Die Vorkonditionierung ist wie folgt durchzuführen, wobei die Vorkonditionierungszyklen identisch mit den Zyklen für die Emissionsmessung sind.

7.3.1.1.1. Vorkonditionierung den NRTC-Prüflauf mit Kaltstart

Der Motor muss zur Vorkonditionierung mindestens einen NRTC mit Warmstart durchlaufen. Unmittelbar nach Abschluss jedes Vorkonditionierungszyklus wird der Motor für die Dauer der Durchwärmungsphase mit abgestelltem Motor abgestellt. Unmittelbar nach Abschluss des letzten Vorkonditionierungszyklus wird der Motor abgestellt und die Abkühlung gemäß Nummer 7.3.1.2 beginnt.

7.3.1.1.2. Vorkonditionierung für den NRTC- oder LSI-NRTC-Prüflauf mit Warmstart

Diese Nummer beschreibt die Vorkonditionierung, die für den NRTC mit Warmstart, sofern darin ohne Durchführung des NRTC mit Kaltstart Emissionsproben genommen werden sollen, oder für den LSI-NRTC vorzunehmen ist. Der Motor muss zur Vorkonditionierung mindestens einen NRTC oder LSI-NRTC, je nachdem, was zutrifft, mit Warmstart durchlaufen. Unmittelbar nach Abschluss jedes Vorkonditionierungszyklus wird der Motor abgestellt und der nächste Zyklus so bald wie möglich gestartet. Es wird empfohlen, den nächsten Vorkonditionierungszyklus binnen 60 Sekunden nach Abschluss des vorangehenden Vorkonditionierungszyklus zu starten. Im Anschluss an den letzten Vorkonditionierungszyklus ist die zutreffende Durchwärmungs- (NRTC mit Warmstart) oder Abkühlungsphase (LSI-NRTC) einzuhalten, bevor der Motor für die Emissionsprüfung gestartet wird. Falls keine Durchwärmungs- oder Abkühlungsphase vorgeschrieben ist, wird empfohlen, die Emissionsprüfung binnen 60 Sekunden nach Abschluss des letzten Vorkonditionierungszyklus zu beginnen.

▼B

7.3.1.1.3. Vorkonditionierung für den Einzelphasen-NRSC

Motoren, die nicht zu den Klassen NRS und NRSh gehören, müssen warmlaufen und weiterlaufen, bis die Motortemperaturen (Kühlwasser und Schmieröl) stabilisiert sind; dies geschieht für Einzelphasen-NRSC außer den Zyklen D2, E2 oder G bei 50 % der Drehzahl und 50 % des Drehmoments und für die Einzelphasen-NRSC D2, E2 oder G bei Nenndrehzahl und 50 % des Drehmoments. Der Drehzahlwert von 50 % wird gemäß Nummer 5.2.5.1 berechnet, falls zur Ermittlung der Prüfdrehzahlen die maximale Prüfdrehzahl herangezogen wird, in allen anderen Fällen wird sie gemäß Nummer 7.7.1.3 berechnet. 50 % des Drehmoments ist definiert als 50 % des höchsten bei dieser Drehzahl zur Verfügung stehenden Drehmoments. Die Emissionsprüfung ist ohne vorheriges Abstellen des Motors zu starten.

Bei Motoren der Klassen NRS und NRSh erfolgt das Warmlaufen des Motors gemäß den Empfehlungen des Herstellers und nach bestem technischen Ermessen. Vor dem Beginn der Probenahme muss der Motor in Phase 1 des geeigneten Prüfzyklus laufen, bis die Motortemperaturen sich stabilisiert haben. Die Emissionsprüfung ist ohne vorheriges Abstellen des Motors zu starten.

7.3.1.1.4. Vorkonditionierung für den RMC

Der Hersteller wählt eine der folgenden Vorkonditionierungssequenzen a oder b aus. Der Motor ist nach der gewählten Sequenz vorzukonditionieren.

a) Zur Vorkonditionierung muss der Motor in Abhängigkeit von der Zahl der Prüfphasen mindestens die zweite Hälfte des RMC durchlaufen. Zwischen den Zyklen ist der Motor nicht abzustellen. Unmittelbar nach Abschluss jedes Vorkonditionierungszyklus ist der nächste Zyklus (einschließlich der Emissionsprüfung) so bald wie möglich zu starten. Es wird empfohlen, den nächsten Zyklus spätestens 60 Sekunden nach Abschluss des letzten Vorkonditionierungszyklus zu starten.

b) Der Motor muss warmlaufen und weiterlaufen, bis die Motortemperaturen (Kühlwasser und Schmieröl) stabilisiert sind; dies geschieht für die RMC-Prüfzyklen außer den Zyklen D2, E2 oder G bei 50 % der Drehzahl und 50 % des Drehmoments und für die RMC-Prüfzyklen D2, E2 und G bei Nenndrehzahl und 50 % des Drehmoments. Der Drehzahlwert von 50 % wird gemäß Nummer 5.2.5.1 berechnet, falls zur Ermittlung der Prüfdrehzahlen die maximale Prüfdrehzahl herangezogen wird, in allen anderen Fällen wird er gemäß Nummer 7.7.1.3 berechnet. 50 % des Drehmoments ist definiert als 50 % des höchsten bei dieser Drehzahl zur Verfügung stehenden Drehmoments.

7.3.1.1.5. Abkühlen des Motors (NRTC)

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.

▼B

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, 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 Nummer 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 Geräteherstellers 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 gemäß Nummer 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 mit dynamischen Prüfzyklen (NRTC oder LSI-NRTC) oder RMC sowie während der Entnahme einer Probe von gasförmigen Emissionen am Ende jeder Phase bei Einzelphasen-NRSC 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.

▼B

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 Nummer 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 Nummer 8.2.3 einzuhalten.

7.3.2. Nach der Prüfung durchzuführende Verfahren

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 Nummer 8.2.1 eingehalten worden ist. Beim Einfachfilterverfahren und dem stationären Einzelphasenprüfzyklus ist ein effektiver PM-Wichtungsfaktor zu berechnen. Jede Probe, die den Anforderungen von Nummer 8.2.1 nicht genügt, ist zu verwerfen.

7.3.2.2. Konditionieren und Wägen von Partikeln 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 Nummer 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 Gasstichprobenanalysatoren spätestens 30 Minuten nach Abschluss des Prüfzyklus oder, wenn möglich, während der Durchwärmungsphase auf null zu stellen, und ihr Messbereich ist einzustellen.

b) Konventionelle gasförmige Stichproben sind bis spätestens 30 Minuten nach Abschluss des NRTC mit Warmstart oder während der Durchwärmungsphase zu analysieren.

c) Die Hintergrundproben müssen spätestens 60 Minuten nach dem Abschluss des NRTC mit Warmstart analysiert werden.

7.3.2.4. Driftüberprüfung

Nach Quantifizierung der Abgase ist die Drift wie folgt zu überprüfen:

a) Für Gasstichprobenanalysatoren 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

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 Nummer 8.2.2 heranzuziehen.

7.4. Prüfzyklen

Die EU-Typgenehmigungsprüfung ist unter Verwendung des geeigneten NRSC und gegebenenfalls des geeigneten NRTC oder LSI-NRTC gemäß Artikel 23 der Verordnung (EU) 2016/1628 und Anhang IV derselben Verordnung durchzuführen. Die technischen Anforderungen und Merkmale der NRSC, NRTC und LSI-NRTC sind in Anhang XVII festgelegt, die Methode zur Bestimmung der Einstellungen für Last und Drehzahl für diese Zyklen in Abschnitt 5.2.

7.4.1. Stationäre Prüfzyklen

Die stationären Prüfzyklen für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte (NRSC) sind in Anhang XVII Anlagen 1 und 2 als Liste von Einzelphasen (Betriebspunkten) dargestellt, in der jedem Betriebspunkt ein Drehzahl- und ein Drehmomentwert entspricht. Ein NRSC ist mit einem nach Herstellerangaben aufgewärmten und laufenden Motor zu messen. Ein NRSC kann nach Wahl des Herstellers wie unter den Nummern 7.4.1.1 und 7.4.1.2 erläutert, als Einzelphasen-NRSC oder als RMC durchgeführt werden. Es ist nicht notwendig, eine Emissionsprüfung sowohl nach Nummer 7.4.1.1 als auch nach Nummer 7.4.1.2 durchzuführen.

7.4.1.1. Einzelphasen-NRSC

Die Einzelphasen-NRSC werden mit warmgelaufenem Motor durchgeführt; die Emissionsmessung beginnt nach Anlassen und Warmlaufen des Motors, wenn dieser die Betriebsbedingungen nach Nummer 7.8.1.2 erreicht hat. Jeder Zyklus besteht aus einer Anzahl von Drehzahl- und Belastungsphasen (mit dem jeweiligen Wichtungsfaktor), die den typischen Betriebsbereich der betreffenden Motorenklasse abdecken.

7.4.1.2. Gestufter modaler NRSC

Die RMC werden mit warmgelaufenem Motor durchgeführt; die Emissionsmessung beginnt nach Anlassen und Warmlaufen des Motors, wenn dieser die Betriebsbedingungen nach Nummer 7.8.2.1 erreicht hat. Der Motor ist während des gesamten RMC durch das Prüfstand-Steuergerät zu steuern. Die Messung der gasförmigen Emissionen und der Partikelemissionen sowie die Probenahme erfolgen im RMC kontinuierlich wie in einem dynamischen Zyklus (NRTC oder LSI-NRTC).

Mit einem RMC soll ein Verfahren für die Durchführung einer stationären Prüfung unter pseudodynamischen Bedingungen erstellt werden. Jeder RMC besteht aus einer Reihe von stationären Prüfphasen mit einem linearen Übergang zwischen ihnen. Die relative Gesamtdauer der einzelnen Phasen und der ihnen vorausgehenden Übergänge entspricht der Gewichtung in den stationären Prüfzyklen mit Einzelphasen. 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). In einigen Fällen werden die Phasen nicht in derselben Reihenfolge durchgeführt wie im Einzelphasen-NRSC oder die Phasen werden geteilt, um extreme Temperaturschwankungen zu vermeiden.

▼B

7.4.2. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC)

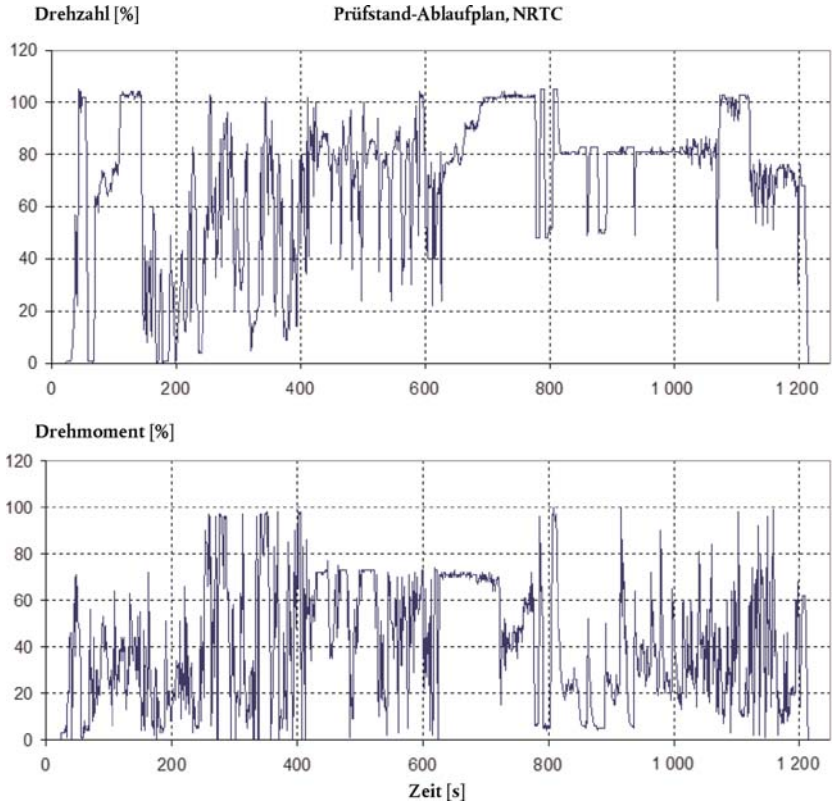
Der dynamische Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte (NRTC) und der dynamische Prüfzyklus für große Motoren mit Fremdzündung der Klasse NRS für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte (LSI-NRTC) sind beide in Anhang XVII Anlage 3 als Folge von im Sekundenabstand wechselnden normierten Drehzahl- und Drehmomentwerten festgelegt. 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- oder LSI-NRTC-Bezugszyklus für den zu prüfenden Motor (siehe Nummer 7.7.2).

7.4.2.1. Prüffolge für den NRTC

Abbildung 6.3 enthält eine grafische Darstellung des normierten NRTC-Ablaufplans für den Leistungsprüfstand.

*Abbildung 6.3*

**Normierter NRTC-Ablaufplan für den Motorleistungprüfstand**




Der dynamische Prüfzyklus ist nach Abschluss der Vorkonditionierung (siehe Nummer 7.3.1.1.1) zweimal gemäß dem nachstehenden Verfahren durchzuführen:

a) mit Kaltstart nach natürlicher Abkühlung des Motors und der Abgasnachbehandlungssysteme auf Raumtemperatur oder mit Kaltstart nach Zwangsabkühlung und nachdem sich die Temperatur des Motors, des Kühlmittels, des Öls, des Abgasnachbehandlungssystems und aller Motorsteuerungseinrichtungen bei 293 K

▼B

bis 303 K (20 °C bis 30 °C) stabilisiert hat. Die Messung der Emissionen beim Kaltstart beginnt mit dem Anspringen des kalten Motors;

b) die Durchwärmungsphase beginnt unmittelbar nach Abschluss der Phase mit Kaltstart. Der abgestellte Motor ist für den Warmstart durch eine Durchwärmungsphase von 20 Minuten ± 1 Minute Dauer zu konditionieren;

c) der Warmstart beginnt unmittelbar nach der Durchwärmungsphase mit dem Anlassen des Motors. Die Gasanalysatoren sind spätestens 10 Sekunden vor dem Ende der Durchwärmungsphase 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 bremsspezifischen Emissionen (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. Ein gewichteter Emissionsmischwert ist, wie in Anhang VII im Einzelnen dargestellt, durch Gewichtung der Ergebnisse der Kaltstartprüflaufe mit 10 % und der Warmstartprüfläufe mit 90 % zu berechnen.

7.4.2.2. Prüffolge für den LSI-NRTC

Der LSI-NRTC ist nach Abschluss der Vorkonditionierung (siehe Nummer 7.3.1.1.2) einmal als Warmstartprüfung gemäß dem nachstehenden Verfahren durchzuführen:

a) Der Motor ist anzulassen und die ersten 180 Sekunden des Lastzyklus zu betreiben, anschließend ist er 30 Sekunden lang ohne Belastung bei Leerlaufdrehzahl zu betreiben. Während dieser Aufwärmsequenzen sind keine Emissionsmessungen vorzunehmen.

b) Am Ende der Leerlaufphase von 30 Sekunden ist die Emissionsmessung zu beginnen und der Motor über den gesamten Lastzyklus von Beginn an (Sekunde 0) zu betreiben.

Die bremsspezifischen Emissionen (in g/kWh) sind nach den in Anhang VII festgelegten Verfahren zu bestimmen.

Wenn der Motor bereits vor der Prüfung in Betrieb war, ist er nach bestem fachlichen Ermessen so abzukühlen, dass die gemessen Emissionen genau denen eines bei Raumtemperatur gestarteten Motors entsprechen. Wenn zum Beispiel ein bei Raumtemperatur gestarteter Motor sich in drei Minuten ausreichend warmläuft, um den Betrieb im geschlossenen Regelkreissystem zu beginnen und volle Katalysatoraktivität zu erreichen, ist vor Beginn der nächsten Prüfung nur eine minimale Motorkühlung notwendig.

▼B

Mit vorheriger Zustimmung des technischen Dienstes kann das Verfahren zum Warmlaufen des Motors bis zu 15 Minuten des Betriebs im Lastzyklus umfassen.

7.5. Allgemeine Prüffolge

Die Messung der Motoremissionen erfolgt in folgenden Schritten:

a) Für den zu prüfenden Motor werden die Prüfdrehzahlen und -belastungen festgelegt, indem (bei Motoren mit konstanter Drehzahl) das maximale Drehmoment oder (bei Motoren mit variabler Drehzahl) die Kurve des maximalen Drehmoments in Abhängigkeit von der Drehzahl gemessen wird.

b) Normierte Prüfzyklen sind anhand des gemäß Nummer 7.5 Buchstabe a ermittelten Drehmomentwertes (bei Motoren mit konstanter Drehzahl) oder der ermittelten Drehzahl- und Drehmomentwerte (bei Motoren mit variabler Drehzahl) zu entnormieren.

c) Der Motor, die Ausrüstung sowie die Messgeräte sind vorab für die nachfolgende Emissionsprüfung oder die Serien von Emissionsprüfungen (Kaltstart- und Warmstartprüflauf) vorzubereiten.

d) Vor der Prüfung sind bestimmte Ausrüstungsteile und Analysatoren auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen. Alle Analysatoren sind zu kalibrieren. Alle Daten zur Prüfungsvorbereitung sind zu dokumentieren.

e) Zu Beginn des Prüfzyklus wird der Motor gestartet (NRTC) oder läuft weiter (stationäre Zyklen und LSI-NRTC); gleichzeitig sind die Probenahmesysteme zu starten.

f) Die Emissionen und sonstigen geforderten Parameter sind in der Probenahmezeit zu messen oder aufzuzeichnen (bei NRTC, LSI-NRTC und RMC über den gesamten Prüfzyklus).

g) Nach der Prüfung sind bestimmte Ausrüstungsteile und Analysatoren auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen.

h) Die PM-Filter sind vorzukonditionieren, zu wägen (Leergewicht), zu laden, erneut zu konditionieren und zu wägen (Gewicht beladen); anschließend sind die Proben gemäß den vor und nach der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.1.5 bzw. Nummer 7.3.2.2 auszuwerten.

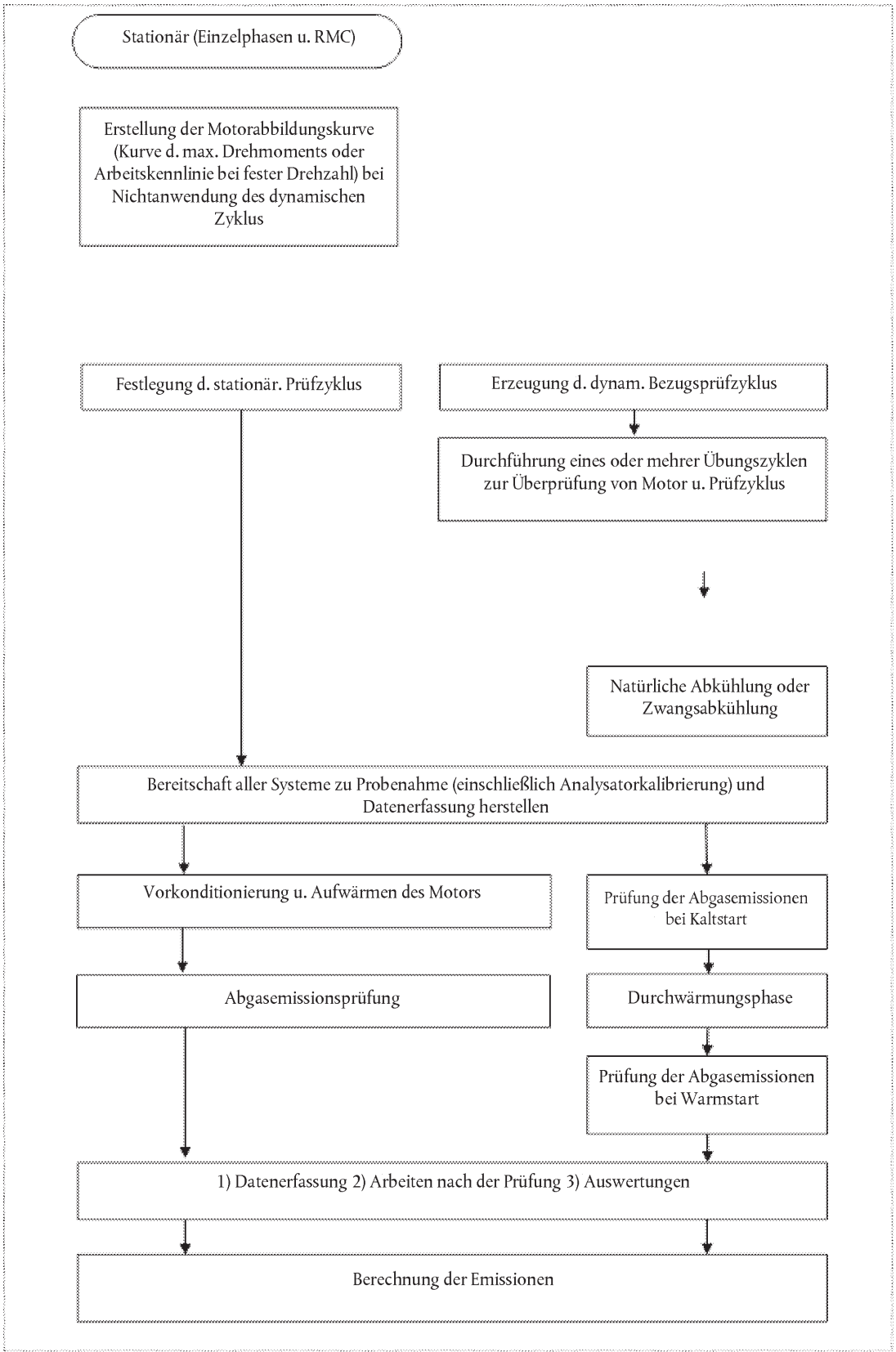
i) Die Ergebnisse der Emissionsprüfung sind auszuwerten.

Abbildung 6.4 bietet einen Überblick über die Verfahren, die zur Durchführung der Prüfzyklen für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit Messung der Abgasemissionen des Motors erforderlich sind.

▼B

*Abbildung 6.4*

**Prüffolge**



▼B

7.5.1. Start und Neustart des Motors

7.5.1.1. Motorstart

Der Motor ist zu starten:

a) gemäß den Empfehlungen in der Bedienungsanleitung mit dem serienmäßigen 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 ± 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 abzubrechen und die Ursache des Nichtanspringens zu ermitteln, sofern nicht in der Bedienungsanleitung oder im Werkstatthandbuch ein längeres Durchdrehen als normal angegeben wird.

7.5.1.2. Abwürgen des Motors

a) Wird der Motor zu irgendeinem Zeitpunkt des NRTC mit Kaltstart abgewürgt, ist die Prüfung ungültig.

b) Wird der Motor zu irgendeinem Zeitpunkt des NRTC mit Warmstart abgewürgt, ist die Prüfung ungültig. Der Motor ist dann nach Nummer 7.4.2.1 Buchstabe b heiß abzustellen, und der Prüflauf mit Warmstart ist zu wiederholen. Der Prüflauf mit Kaltstart braucht in diesem Fall nicht wiederholt zu werden.

c) Wird der Motor während des LSI-NRTC zu irgendeinem Zeitpunkt abgewürgt, ist die Prüfung ungültig.

d) Wird der Motor zu irgendeinem Zeitpunkt des NRSC (mit Einzelphasen oder gestuft) abgewürgt, ist die Prüfung ungültig und muss, beginnend mit dem Warmlaufen des Motors, wiederholt werden. Bei PM-Messungen nach dem Mehrfachfilterverfahren (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.

7.5.1.3 Betrieb des Motors

Der Betrieb 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.

▼B

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:

Beabsichtigt der Hersteller bei entsprechend ausgerüsteten Motoren die Drehmoment-Sendefunktion des elektronischen Steuergeräts im Rahmen von Überwachungsprüfungen im Betrieb gemäß der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 zu nutzen, ist die Überprüfung nach Anlage 3 während der Erstellung der Motorabbildungskurve zusätzlich durchzuführen.

Außer bei Motoren mit konstanter 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 = Leerlaufdrehzahl des warmen Motors

höchste Abbildungsdrehzahl = $n_{hi}$ × 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 gemäß der Definition in Artikel 2 Absatz 12

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. Erstellung der Motorabbildungskurve für NRSC mit variabler Drehzahl

Beim Erstellen der Motorabbildungskurve für einen NRSC mit variabler Drehzahl (nur für Motoren, die den NRTC- oder LSI-NRTC nicht durchlaufen müssen) ist nach bestem fachlichen Ermessen eine ausreichende Zahl 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. Es wird empfohlen, die mittlere Drehzahl und das mittlere Drehmoment anhand der aufgezeichneten Daten aus den letzten 4 bis 6 Sekunden zu berechnen. Wenn nötig sind die Prüfdrehzahlen und -drehmomente für den NRSC mittels linearer Interpolation zu bestimmen. Bei Motoren, die zusätzlich auch eine NRTC- oder LSI-NRTC-Prüfung durchlaufen müssen, wird die NRTC-Motorabbildungskurve zur Bestimmung der Drehzahlen und Drehmomente für die stationäre Prüfung herangezogen.

Nach Wahl des Herstellers kann die Motorabbildungskurve alternativ auch nach dem Verfahren gemäß Nummer 7.6.2 erstellt werden.

▼B

7.6.2. Motorabbildungskurve für den NRTC- und den LSI-NRTC

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 sonstige Belastungseinrichtung auf ein Drehmoment von null an der Primärantriebswelle 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 Primärantriebswelle des Motors einzustellen, und die Bedieneingabe 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 variabler 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 auf einen Wert zwischen der Warmleerlaufdrehzahl und 95 % der Warmleerlaufdrehzahl zu regeln. Bei Motoren, in deren Bezugsarbeitszyklen die Mindestdrehzahl 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 Rate von 8 ± 1 $min^{-1}$/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 Abschnitt beschriebenen Abbildungstechniken

▼B

aufgrund sicherheitstechnischer Belange oder zugunsten einer besseren Repräsentativität müssen zusammen mit der entsprechenden Begründung von der Genehmigungsbehörde 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 bestem fachlichen 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 Luftdruck 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 den NRSC mit konstanter Drehzahl

Der Motor kann mit dem serienmäßigen 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.

7.6.3.1. Überprüfung der Nennleistung von Motoren, die mit dem Zyklus D2 oder E2 zu prüfen sind

Folgende Prüfung ist durchzuführen:

a) Der Motor ist mit der Nenndrehzahl und der Nennleistung so lange zu betreiben, bis sich der Betrieb stabilisiert, wobei der Regler oder der simulierte Regler die Drehzahl über die Bedieneingabe steuert.

b) Das Drehmoment ist so lange zu erhöhen, bis der Motor die geregelte Drehzahl nicht mehr einhalten kann. Die Leistung an diesem Punkt ist aufzuzeichnen. Vor Durchführung dieser Prüfung ist zwischen dem Hersteller und dem die Prüfung durchführenden technischen Dienst in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Reglers ein Verfahren zu vereinbaren, nach dem sicher bestimmt werden kann, wann dieser Punkt erreicht ist. Die nach Buchstabe b aufgezeichnete Leistung darf die Nennleistung gemäß der Definition in Artikel 3 Absatz 25 der Verordnung (EU) 2016/1628 nicht um mehr als 12,5 % übersteigen. Wird dieser Wert überschritten, muss der Hersteller die angegebene Nennleistung ändern.

Wenn der zu prüfende konkrete Motor dieser Prüfung nicht unterzogen werden kann, weil sie zu einer Beschädigung des Motors oder des Leistungsprüfstandes führen könnte, legt der Hersteller der Genehmigungsbehörde einen eindeutigen Nachweis darüber vor, dass die maximale Nennleistung die Nennleistung um nicht mehr als 12,5 % überschreitet.

▼B

7.6.3.2. Abbildungsverfahren für den NRSC mit konstanter Drehzahl

a) Der Motor ist mindestens 15 Sekunden 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, es sei denn der konkrete Motor ist dazu nicht in der Lage.

b) Das Drehmoment ist mithilfe des Leistungsprüfstandes mit konstanter Rate zu steigern. Die Abbildung ist so zu erstellen, dass bei Motoren, die mit dem Zyklus D2 oder E2 geprüft werden sollen, das der Nennleistung entsprechende Drehmoment und bei Motoren, die nach anderen Zyklen mit konstanter Drehzahl geprüft werden, das maximale Drehmoment ausgehend von der geregelten Drehzahl ohne Last in nicht weniger als 2 min erreicht wird. Während der Erstellung der Motorabbildungskurve sind die tatsächlichen Drehzahl- und Drehmomentwerte mit einer Abtastfrequenz von mindestens 1 Hz aufzuzeichnen.

c) Motoren mit konstanter Drehzahl und einem Regler, der auf verschiedene Drehzahlen eingestellt werden kann, sind mit jeder anwendbaren konstanten Drehzahl zu prüfen.

Bei Motoren mit konstanter Drehzahl sind Drehmoment und Leistung bei den festgelegten Betriebsdrehzahlen im Einvernehmen mit der Genehmigungsbehörde nach bestem fachlichen Ermessen mittels anderer Verfahren aufzuzeichnen.

Bei Motoren, die nicht nach den Zyklen D2 oder E2 geprüft werden, kann, falls für das maximale Drehmoment sowohl der gemessene als auch der erklärte Wert vorliegt, der erklärte Wert anstatt des gemessenen Wertes herangezogen werden, wenn er zwischen 95 % und 100 % des gemessenen Wertes beträgt.

7.7. Erzeugen von Prüfzyklen

7.7.1. Erzeugung des NRSC

Nach den Bestimmungen dieser Nummer sind die Drehzahl- und Lastwerte festzulegen, mit denen der Motor im Einzelphasen-NRSC oder im RMC zu betreiben ist.

7.7.1.1. Festlegung von NRSC-Prüfdrehzahlen für Motoren, die sowohl mit dem NRSC als auch mit dem NRTC oder dem LSI-NRTC geprüft werden.

Für Motoren, die zusätzlich zu einem stationären Zyklus einen NRTC oder LSI-NRTC durchlaufen, ist als 100- %-Drehzahl sowohl für die dynamische als auch für die stationäre Prüfung die maximale Prüfdrehzahl nach Nummer 5.2.5.1 zu verwenden.

Die maximale Prüfdrehzahl ist bei der Bestimmung der Zwischendrehzahl gemäß Nummer 5.2.5.4 anstelle der Nenndrehzahl zu verwenden.

Die Leerlaufdrehzahl ist nach Nummer 5.2.5.5 zu bestimmen.

7.7.1.2. Festlegung von NRSC-Prüfdrehzahlen für Motoren, die nur mit dem NRSC geprüft werden

Für Motoren, die nicht mit einem dynamischen Zyklus (NRTC oder LSI-NRTC) geprüft werden, ist als 100- %-Drehzahl die Nenndrehzahl nach Nummer 5.2.5.3 zu verwenden.

▼B

Zur Bestimmung der Zwischendrehzahl nach Nummer 5.2.5.4 ist die Nenndrehzahl zu verwenden. Sind im NRSC zusätzliche Drehzahlen als Prozentsatz festgelegt, sind diese als Prozentsatz der Nenndrehzahl zu berechnen.

Die Leerlaufdrehzahl ist nach Nummer 5.2.5.5 zu bestimmen.

Mit vorheriger Zustimmung des technischen Dienstes kann zur Erzeugung von Prüfdrehzahlen in diesem Abschnitt anstatt der Nenndrehzahl die maximale Prüfdrehzahl verwendet werden.

7.7.1.3. Bestimmung der NRSC-Last für jede Prüfphase

Die anteilige Last in Prozent für jede Prüfphase des gewählten Prüfzyklus ist der einschlägigen NRSC-Tabelle in Anhang XVII Anlage 1 oder 2 zu entnehmen. In Abhängigkeit von dem Prüfzyklus wird die anteilige Last in diesen Tabellen entweder als Leistung oder als Drehmoment gemäß Nummer 5.2.6 und den Fußnoten für jede Tabelle angegeben.

Der Wert von 100 % bei einer bestimmten Prüfdrehzahl ist der gemessene oder erklärte Wert aus der gemäß Nummer 7.6.1, 7.6.2 bzw. 7.6.3 erstellten Motorabbildungskurve, ausgedrückt als Leistung (kW).

Die Motoreinstellung ist für jeden Prüfpunkt mithilfe der Gleichung 6-14 zu berechnen:

$$S = \left( (P_{\max} + P_{AUX}) \cdot \frac{L}{100} \right) - P_{AUX} \qquad (6\text{-}14)$$

Dabei ist:

$S$ der Einstellwert des Leistungsprüfstands in kW

$P_{max}$ die festgestellte oder erklärte Höchstleistung bei Prüfdrehzahl unter Prüfbedingungen (Angabe des Herstellers) in kW

$P_{AUX}$ die erklärte Gesamtleistungsaufnahme der für die Prüfung angebrachten Hilfseinrichtungen gemäß der Gleichung 6-8 (siehe Nummer 6.3.5) bei der festgelegten Prüfdrehzahl in kW

$L$ Prozent Drehmoment

Es kann ein Mindestdrehmoment bei warmem Motor angegeben werden, das repräsentativ für den normalen Betrieb ist; dieses kann für alle Lastpunkte verwendet werden, die sonst unterhalb dieses Wertes lägen, wenn der Motortyp unterhalb dieses Mindestdrehmoments nicht normal arbeiten kann, etwa weil er in eine mobile Maschine oder ein mobiles Gerät eingebaut werden soll, die oder das unterhalb eines gewissen Mindestdrehmoments nicht betrieben werden kann.

Im Fall der Zyklen E2 und D2 muss der Hersteller die Nennleistung erklären und diese ist bei der Erzeugung des Prüfzyklus als 100-%-Leistung heranzuziehen.

▼B

7.7.2. Erzeugung von NRTC- und LSI-NRTC-Drehzahl und -Last für jeden Prüfpunkt (Entnormierung)

Nach den Bestimmungen dieser Nummer sind die entsprechenden Drehzahl- und Lastwerte zu bestimmen, mit denen der Motor in den NRTC- oder LSI-NRTC-Prüfungen zu betreiben ist. In Anhang XVII Anlage 3 sind anwendbare 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:

a) Die normierte Drehzahl ist nach Nummer 7.7.2.2 in eine Abfolge von Bezugsdrehzahlen $n_{ref}$ umzuwandeln.

b) Das normierte Drehmoment wird als Prozentwert des abgebildeten Drehmoments aus der nach Nummer 7.6.2 erstellten Kurve bei der entsprechenden Bezugsdrehzahl ausgedrückt. Diese normierten Werte sind nach Nummer 7.7.2.3 in eine Abfolge von Bezugsdrehmomenten $T_{ref}$ umzuwandeln.

c) Die Bezugsdrehzahl und das Bezugsdrehmoment, jeweils ausgedrückt in kohärenten Einheiten, werden multipliziert, um die Bezugsleistungswerte zu berechnen.

7.7.2.1. Reserviert

7.7.2.2. Entnormierung der Motordrehzahl

Die Drehzahl ist nach der Gleichung 6-15 zu entnormieren:

$$n_{ref} = \frac{\%speed \times (MTS - n_{idle})}{100} + n_{idle} \qquad (6\text{-}15)$$

Dabei ist:

$n_{ref}$ die Bezugsdrehzahl

$MTS$ die maximale Prüfdrehzahl

$n_{idle}$ die Leerlaufdrehzahl

$\%speed$ der normierte Drehzahlwert des NRTC oder LSI-NRTC aus Anhang XVII Anlage 3

7.7.2.3. Entnormierung des Motordrehmoments

Die im Ablaufplan für den Motorleistungsprüfstand in Anhang XVII Anlage 3 angegebenen Drehmomentwerte sind auf die Höchstwerte bei den jeweiligen Drehzahlen normiert. Anhand der nach Nummer 7.6.2 bestimmten Abbildungskurve sind die Drehmomentwerte des Bezugszyklus nach der Gleichung 6-16 zu entnormieren:

$$T_{ref} = \frac{\%torque \cdot max.torque}{100} \qquad (6\text{-}16)$$

für die in Nummer 7.7.2.2 bestimmte jeweilige Bezugsdrehzahl

Dabei ist:

$T_{ref}$ das Bezugsdrehmoment für die jeweilige Bezugsdrehzahl

▼B

*max.torque* das maximale Drehmoment bei der jeweiligen Prüfdrehzahl aus der gemäß Nummer 7.6.2 erstellten, wenn nötig nach Nummer 7.7.2.3.1 berichtigten Motorabbildungskurve

*%torque* der normierte Drehmomentwert des NRTC oder LSI-NRTC aus Anhang XVII Anlage 3

a) Erklärtes Mindestdrehmoment

Es kann ein Mindestdrehmoment angegeben werden, das repräsentativ für den normalen Betrieb ist. Beispielsweise kann, wenn der Motor üblicherweise an eine nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschine oder ein mobiles Gerät angeschlossen ist, die oder das nicht unterhalb eines bestimmten Mindestdrehmoments arbeitet, dieser Drehmomentwert erklärt und für alle Lastpunkte verwendet werden, die sonst unterhalb dieses Wertes lägen.

b) Berichtigung des Motordrehmoments wegen Hilfseinrichtungen, die für die Emissionsprüfungen angebracht wurden

Sind Hilfseinrichtungen nach Anlage 2 angebracht, ist keine Berichtigung des maximalen Drehmoments der jeweiligen Prüfdrehzahl aus der nach Nummer 7.6.2 erstellten Motorabbildungskurve vorzunehmen.

Wenn nach Nummer 6.3.2 oder 6.3.3 notwendige Hilfseinrichtungen, die für die Prüfung hätten angebracht werden sollen, nicht angebracht wurden oder Hilfseinrichtungen angebracht sind, die zu entfernen waren, ist der Wert $T_{max}$ nach der Gleichung 6-17 zu berichtigen.

$$T_{max} = T_{map} — T_{AUX} \quad (6\text{-}17)$$

Dabei ist:

$$T_{AUX} = T_r — T_f \quad (6\text{-}18)$$

wobei gilt:

$T_{map}$ ist das unberichtigte maximale Drehmoment bei der jeweiligen Prüfdrehzahl aus der gemäß Nummer 7.6.2 erstellten Motorabbildungskurve

$T_f$ ist das für den Antrieb von Hilfseinrichtungen, die anzubringen waren, für die Prüfung jedoch nicht angebaut wurden, notwendige Drehmoment

$T_r$ ist das für den Antrieb von Hilfseinrichtungen, die auszubauen waren, bei der Prüfung jedoch angebaut waren, notwendige Drehmoment

7.7.2.4. Beispiel eines Entnormierungsverfahrens

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

*% speed* = 43 %

*% torque* = 82 %

Unter der Annahme folgender Werte:

*MTS* = 2 200 $min^{-1}$

▼B

$n_{idle}$ = 600 $min^{-1}$

Daraus folgt

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

mit dem höchsten Drehmoment von 700 Nm aus der Abbildungskurve bei 1 288 $min^{-1}$.

$$T_{ref} = \frac{82 \times 700}{100} = 574 \text{ Nm}$$

7.8. Spezifische Durchführungsverfahren für die Prüfzyklen

7.8.1. Emissionsprüfungsfolge für NRSC mit Einzelphasen

7.8.1.1. Warmlaufen für den stationären Einzelphasen-NRSC

Die vor der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.1 einschließlich der Kalibrierung der Analysatoren sind durchzuführen. Der Motor ist nach der Vorkonditionierungssequenz unter Nummer 7.3.1.1.3 aufzuwärmen. Die Messungen des Prüfzyklus beginnen unmittelbar, wenn dieser Punkt der Konditionierung erreicht ist.

7.8.1.2. Durchführung des Einzelphasen-NRSC

a) Die Prüfung ist in aufsteigender Reihenfolge der für den Prüfzyklus angegebenen Prüfphasen durchzuführen (siehe Anhang XVII Anlage 1).

b) Jede Phase dauert mindestens 10 Minuten, außer bei der Prüfung von Fremdzündungsmotoren mit den Prüfzyklen G1, G2 oder G3, wobei jede Phase mindestens 3 Minuten dauert. In jeder Phase ist der Motor mindestens 5 Minuten lang zu stabilisieren; die Probenahme dauert 1-3 Minuten für die gasförmigen Emissionen und — bei einem geltenden Grenzwert, die Partikelzahl am Ende jeder Phase außer bei der Prüfung von Fremdzündungsmotoren mit den Prüfzyklen G1, G2 oder G3, in denen die Probenahme mindestens die letzten 2 Minuten der jeweiligen Prüfphase einnehmen muss. Um die Genauigkeit der PM-Probenahme zu erhöhen, ist eine Verlängerung der Probenahmezeit zulässig.

Die Dauer der Prüfphasen ist aufzuzeichnen und anzugeben.

c) Die PM-Probenahme kann nach dem Einfachfilterverfahren oder nach dem Mehrfachfilterverfahren erfolgen. Da die Ergebnisse bei diesen Verfahren geringfügig voneinander abweichen können, ist das angewandte Verfahren zusammen mit den Ergebnissen anzugeben.

Beim Einfachfilterverfahren 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 0,005 von dem Wichtungsfaktor der jeweiligen Phase abweichen.

Die Probenahme muss bei jeder Prüfphase so spät wie möglich erfolgen. Beim Einfachfilterfahren muss das Ende der PM-Probenahme auf ± 5 s genau mit dem Abschluss der Messung der gasförmigen Emissionen zusammenfallen. Die Probenahme muss

▼B

bei jedem Prüfpunkt beim Einfachfilterverfahren 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 Ansaugluftemperatur, des Kraftstoffdurchsatzes sowie gegebenenfalls 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 Einfachfilterverfahren in einer Einzelphase 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 dem Mehrfachfilterverfahren (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.

f) Die nach der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.2 sind durchzuführen.

7.8.1.3. Validierungskriterien

An jedem Punkt des jeweiligen stationären Prüfzyklus muss nach der einleitenden Übergangsphase zu Anfang die gemessene Drehzahl der Bezugsdrehzahl mit einer Toleranz von ± 1 % der Nenndrehzahl oder ± 3 $min^{-1}$ 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. Emissionsprüfungsfolge für den RMC

7.8.2.1. Warmlaufen des Motors

Die vor der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.1 einschließlich der Kalibrierung der Analysatoren sind durchzuführen. Der Motor ist nach der Vorkonditionierungssequenz unter Nummer 7.3.1.1.4 aufzuwärmen. Im unmittelbaren Anschluss an dieses Konditionierungsverfahren sind Drehzahl und Drehmoment, falls sie nicht bereits für die erste Phase der Prüfung eingestellt sind, linear in einem 20 ± 1 s langen Übergang auf die Werte der ersten Prüfphase zu verändern. Die Messung des Prüfzyklus muss 5 bis 10 s nach Ende des Übergangs zur Prüfstufe beginnen.

7.8.2.2. Durchführung eines RMC-NRSC

Die Prüfung ist in der Reihenfolge der für den Prüfzyklus angegebenen Prüfphasen durchzuführen (siehe Anhang XVII Anlage 2). Ist für den vorgeschriebenen NRSC kein RMC vorhanden, ist nach dem Verfahren mit Einzelphasen nach Nummer 7.8.1 vorzugehen.

▼B

Der Motor ist in jeder Phase für die vorgeschriebene Dauer zu betreiben. Der Übergang von einer Phase zur nächsten muss linear in 20 s ± 1 s mit den Toleranzen gemäß Absatz 7.8.2.4 erfolgen.

Bei RMC 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 Bezugsdrehmomentwerte sind zwischen den Phasen nicht linear zu ändern und anschließend zu entnormieren. Wird ein Punkt oberhalb der Drehmomentkurve des Motors vom Drehzahl- und Drehmomentübergang erfasst, ist dieser zur Steuerung der Bezugsdrehmomente fortzusetzen; eine Erhöhung der Bedieneingabe auf den Maximalwert ist in diesem Fall zulässig.

Über den gesamten RMC (in jeder Phase einschließlich der Übergänge zwischen den Phasen) sind die Konzentration jedes gasförmigen Schadstoffes zu messen und PM- und PN-Probenahmen durchzuführen, falls ein Grenzwert gilt. 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 im Fall der PM-Probe, an einem einzigen PM-Filter abzuscheiden.

Zur Ermittlung der bremsspezifischen Emissionen ist die tatsächliche Zyklusarbeit durch Integration der tatsächlichen Motorleistung über den Zyklus zu errechnen.

7.8.2.3. Ablauf der Emissionsprüfung

a) Die Durchführung des RMC, die Abgas-Probenahme, die Datenaufzeichnung und die Integration der Messwerte müssen gleichzeitig beginnen.

b) Drehzahl und Drehmoment sind auf die Werte der ersten Phase des Prüfzyklus zu bringen.

c) Wird der Motor zu irgendeinem Zeitpunkt der Durchführung des RMC abgewürgt, ist die Prüfung ungültig. Der Motor ist vorzukonditionieren und die Prüfung zu wiederholen.

d) 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 einzustellen. Schließlich sind alle Integratoren anzuhalten und die aufgezeichneten Daten müssen das Prüfungsende anzeigen.

e) Die nach der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.2 sind durchzuführen.

7.8.2.4. Validierungskriterien

Die RMC-Prüfungen sind mittels der Regressionsanalyse gemäß den Nummern 7.8.3.3 und 7.8.3.5 zu validieren. Die zulässigen RMC-Toleranzen sind in der nachfolgenden Tabelle 6.1 angegeben. Zu beachten ist, dass die RMC-Toleranzen sich von den NRTC-Toleranzen in Tabelle 6.2 unterscheiden. Bei der Prüfung von Motoren mit einer Nutzleistung von mehr als 560 kW können die Toleranzen der Regressionsgeraden nach Tabelle 6.2 und die Punktstreichung nach Tabelle 6.3 angewandt werden.

▼B

*Tabelle 6.1*

**Zulässige Abweichung der RMC-Regressionsgeraden**

| | Drehzahl | Drehmoment | Leistung |
|---|---|---|---|
| Standardfehler des geschätzten Verlaufs $y$ 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 — 1,02 | 0,98 — 1,02 |
| Bestimmungskoeffizient, $r^2$ | mindestens 0,990 | mindestens 0,950 | mindestens 0,950 |
| $y$-Achsabschnitt der Regressionsgeraden, $a_0$ | ± 1 % der Nenndrehzahl | ± 20 Nm oder, falls größer, ± 2 % des höchsten Drehmoments | ± 4 kW oder, falls größer, ± 2 % der höchsten Leistung |

Falls die RMC-Prüfung nicht an einem dynamischen Prüfstand durchgeführt wird, sodass 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 Nummer 7.8.1.3 angegeben. Für den 20 s langen linearen Drehzahl- und Drehmomentübergang zwischen den Phasen der stationären RMC-Prüfungen (Nummer 7.4.1.2) gelten bei Drehzahl und Last folgende Toleranzen:

a) Die Drehzahl ist linear innerhalb von ± 2 % der Nenndrehzahl zu halten.

b) Das Drehmoment ist linear innerhalb von ± 5 % des maximalen Drehmoments bei Nenndrehzahl zu halten.

7.8.3. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC)

Zur Durchführung von NRTC und LSI-NRTC sind die Führungssollwerte für Bezugsdrehzahl und -drehmoment nacheinander auszugeben. Die Sollwerte für Drehzahl und Drehmoment sind mit einer Frequenz von 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, sodass 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 dem Abgasnachbehandlungssystem 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 das Bezugsdrehmoment eingehalten wird und die Drehzahl bei minimaler Bedieneingabe vom Motor geregelt wird.

▼B

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. Durchführung einer NRTC-Prüfung

Die vor der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.1 einschließlich der Vorkonditionierung, der Abkühlung und der Kalibrierung der Analysatoren sind durchzuführen.

Die Prüfung ist folgendermaßen zu beginnen:

Die Prüffolge beginnt unmittelbar nach Starten des Motors, welcher beim NRTC-Prüfung mit Kaltstart zuvor nach Nummer 7.3.1.2 abgekühlt und beim NRTC mit Warmstart zuvor heiß abgestellt wurde. Die Abfolge nach Nummer 7.4.2.1 ist einzuhalten.

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 nach dem Ablaufplan in Anhang XVII Anlage 3 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 einzustellen. Schließlich sind alle Integratoren anzuhalten, und die aufgezeichneten Daten müssen das Prüfungsende anzeigen.

Die nach der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.2 sind durchzuführen.

7.8.3.2. Durchführung einer LSI-NRTC-Prüfung

Die vor der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.1 einschließlich der Vorkonditionierung und der Kalibrierung der Analysatoren sind durchzuführen.

Die Prüfung ist folgendermaßen zu beginnen:

Die Prüfung ist nach der in Nummer 7.4.2.2 festgelegten Abfolge zu beginnen.

Die Datenaufzeichnung, die Abgasprobenahmen und die Integrierung der Messwerte sind zu Beginn des LSI-NRTC nach Ablauf der dreißigsekündigen Leerlaufphase gemäß Nummer 7.4.2.2 Buchstabe b einzuleiten. Der Prüfzyklus ist nach dem Ablaufplan in Anhang XVII Anlage 3 durchzuführen.

▼B

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 durchzuführenden Verfahren nach Nummer 7.3.2 sind durchzuführen.

7.8.3.3. Validierungskriterien für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC)

Zur Prüfung der Validität einer Prüfung sind die Kriterien für die Zyklusvalidierung gemäß dieser Nummer 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 Drehzahl- und Drehmomentwerte zu eliminieren. Punkte mit negativen Drehmomentwerten sind mit einer Arbeit von null zu berücksichtigen. Die tatsächliche Zyklusarbeit $W_{act}$ (kWh) ist unter Verwendung der ausgegebenen Motordrehzahl- und Drehmomentwerte 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 bremsspezifischen Emissionen verwendet (siehe Nummer 7.2).

$W_{act}$ muss zwischen 85 % und 105 % von $W_{ref}$ liegen.

7.8.3.5. Validierungsstatistik (siehe Anhang VII Anlage 2)

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 des Zyklus 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 Betrag und in die gleiche Richtung verschoben werden.

Es ist die Fehlerquadratmethode anzuwenden; die Formel für die beste Anpassung hat die Form gemäß Gleichung 6-19:

$$y = a_1 x + a_0 \qquad (6\text{-}19)$$

dabei ist:

$y$ der ausgegebene Wert von Drehzahl ($min^{-1}$), Drehmoment (Nm) oder Leistung (kW)

$a_1$ die Steigung der Regressionsgeraden

$x$ der Bezugswert von Drehzahl ($min^{-1}$), Drehmoment (Nm) oder Leistung (kW)

$a_0$ der $y$-Achsabschnitt der Regressionsgeraden

Der Standardfehler des geschätzten Verlaufs $y$ über $x$ und der Bestimmungskoeffizient ($r^2$) sind für jede einzelne Regressionsgerade gemäß Anhang VII Anlage 3 zu berechnen.

▼B

Es empfiehlt sich, diese Analyse bei 1 Hz durchzuführen. Für die Gültigkeit der Prüfung müssen die Kriterien von Tabelle 6.2 erfüllt sein.

*Tabelle 6.2*

**Toleranzen der Regressionsgeraden**

| | Drehzahl | Drehmoment | Leistung |
|---|---|---|---|
| Standardfehler des geschätzten Verlaufs $y$ über $x$ | ≤ 5,0 % der maximalen Prüf-drehzahl | ≤ 10,0 % des höchsten abgebildeten Dreh-moments | ≤ 10,0 % der höchsten abgebil-deten Leistung |
| Steigung der Regressions-geraden, $a_1$ | 0,95 bis 1,03 | 0,83 — 1,03 | 0,89 — 1,03 |
| Bestimmungs-koeffizient, $r^2$ | mindestens 0,970 | mindestens 0,850 | mindestens 0,910 |
| $y$-Achsabschnitt der Regressions-geraden, $a_0$ | ≤ 10 % der Leerlauf-drehzahl | ± 20 Nm oder, falls größer, ± 2 % des höchsten Drehmoments | ± 4 kW oder, falls größer, ± 2 % der höchsten Leistung |

Ausschließlich für die Regressionsanalysen können die in Tabelle 6.3 genannten Punkte vor der Regressionsberechnung gestrichen werden. Für die Berechnung der Zyklusarbeit und der Emissionen dürfen sie jedoch nicht gestrichen werden. Ein Leerlaufpunkt wird definiert als Punkt mit normiertem Bezugsdrehmoment von 0 % und einer normierten Bezugsdrehzahl von 0 %. 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 6.3*

**Zulässige Punktstreichungen aus der Regressionsanalyse**

| Vorgang | Bedingungen ($n$ = Drehzahl, $T$ = Drehmoment) | Zulässige Punktstreichungen |
|---|---|---|
| Minimum der Bedieneingabe (Leerlauf) | $n_{ref} = n_{idle}$<br>und<br>$T_{ref} = 0\ \%$<br>und<br>$T_{act} > (T_{ref} - 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$<br>und<br>$T_{act} < (T_{ref} + 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$ | Drehzahl und Leistung |
| Minimum der Bedieneingabe | $n_{act} \leq 1{,}02\ n_{ref}$ und $T_{act} > T_{ref}$<br>oder<br>$n_{act} > n_{ref}$ und $T_{act} \leq T_{ref}$,<br>oder<br>$n_{act} > 1{,}02\ n_{ref}$ und $T_{ref} < T_{act} \leq (T_{ref} + 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$ | Leistung und entweder Drehmoment oder Drehzahl |
| Maximum der Bedieneingabe | $n_{act} < n_{ref}$ und $T_{act} \geq T_{ref}$<br>oder<br>$n_{act} \geq 0{,}98\ n_{ref}$ und $T_{act} < T_{ref}$<br>oder<br>$n_{act} < 0{,}98\ n_{ref}$ und $T_{ref} > T_{act} \geq (T_{ref} - 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$ | Leistung und entweder Drehmoment oder Drehzahl |

▼B

8. Messverfahren

8.1. Kalibrierung und Leistungsüberprüfung

8.1.1. Einleitung

Diese Nummer enthält eine Beschreibung der erforderlichen Kalibrierungen und Überprüfungen der Messsysteme. Siehe Nummer 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 Messsystemhersteller 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 6.4 enthält einen Überblick über die in Abschnitt 8 beschriebenen Kalibrierungs- und Überprüfungstätigkeiten sowie Angaben über den Zeitpunkt, zu dem diese Tätigkeiten durchgeführt werden müssen.

*Tabelle 6.4*

**Überblick über die Kalibrierungs- und Überprüfungstätigkeiten**

| Art der Kalibrierung oder Überprüfung | Mindesthäufigkeit [a] |
|---|---|
| 8.1.3: Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Rauschen | Genauigkeit: nicht erforderlich, aber bei der Erstinstallation empfohlen.<br>Wiederholbarkeit: nicht erforderlich, aber bei der Erstinstallation empfohlen.<br>Rauschen: nicht erforderlich, aber bei der Erstinstallation empfohlen. |
| 8.1.4: Nachprüfung der Linearität | Drehzahl: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Drehmoment: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Durchsatz der Ansaugluft, der Verdünnungsluft und des verdünnten Abgases und Stichprobendurchsatz: 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.<br>Durchsatz des Rohabgases: 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.<br>Gasteiler: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Gasanalysatoren (sofern nichts anderes angegeben ist): bei der Erstinstallation, binnen 35 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |

▼B

| Art der Kalibrierung oder Überprüfung | Mindesthäufigkeit [a] |
|---|---|
| | FTIR-Analysator: bei der Installation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>PM-Waage: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Selbstständiger Druck und selbstständige Temperatur: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |
| 8.1.5: Überprüfung des Ansprechverhaltens und der Aktualisierungs-/ Aufzeichnungsfunktion von kontinuierlichen Gasanalysatoren — für Gasanalysatoren, bei denen keine 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 Aktualisierungs-/ Aufzeichnungsfunktion 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 |
| 8.1.7.1: 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: Durchsatz des verdünnten Abgases (CVS und PFD) | Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |
| 8.1.8.5: Überprüfung von CVS/PFD und Stichprobenentnehmer [b] | Bei der Erstinstallation, binnen 35 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten (Propankontrolle) |
| 8.1.8.8: Vakuumleckage | Bei der Installation des Probenahmesystems. Vor jedem Labortest gemäß Nummer 7.1. Innerhalb von 8 Stunden vor dem Beginn des ersten Prüfintervalls jeder Lastzyklenfolge und nach Wartungstätigkeiten, etwa Vorfilterwechseln |
| 8.1.9.1: $CO_2$-NDIR-$H_2O$-Querempfindlichkeit | Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |
| 8.1.9.2: CO-NDIR-$CO_2$- und $H_2O$-Querempfindlichkeit | Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |
| 8.1.10.1: FID-Kalibrierung<br>Optimierung und Überprüfung eines HC-FID | Kalibrierung, Optimierung und Ermittlung des $CH_4$-Ansprechverhaltens: Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Überprüfung des $CH_4$-Ansprechverhaltens: Bei der Erstinstallation, binnen 185 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |

▼B

| Art der Kalibrierung oder Überprüfung | Mindesthäufigkeit [a] |
|---|---|
| 8.1.10.2: Rohabgas-FID-$O_2$-Querempfindlichkeit | Bei allen FID-Analysatoren: bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Bei allen THC-FID-Analysatoren: bei der Erstinstallation, nach umfangreichen Wartungstätigkeiten und nach der<br>FID-Optimierung gemäß Nummer 8.1.10.1. |
| 8.1.11.1: CLD-$CO_2$- und $H_2O$-Querempfindlichkeit | Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |
| 8.1.11.3: NDUV-HC- und $H_2O$-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: Überprüfung des Probentrockners | Bei thermischen Kühlern: bei der Installation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Bei osmotischen Membranen: bei der Installation, binnen 35 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |
| 8.1.13.1: PM-Waage und Wägung | Unabhängige Überprüfung: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten<br>Nullung, Justierung und Überprüfung von Bezugsproben: binnen 12 Stunden vor der Wägung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten |

([a]) 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 ± 2 % entsprechen, ist keine CVS-Überprüfung erforderlich.

8.1.3. Überprüfung von Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Rauschen

Die in Tabelle 6.8 angegebenen Leistungswerte einzelner Geräte bilden die Grundlage zur Ermittlung von Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Rauschen von Geräten.

Die Überprüfung von Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Rauschen 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. Nachprüfbarkeit der Linearität

8.1.4.1. Umfang und Häufigkeit

Für jedes in Tabelle 6.5 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. Mithiilfe einer Linearitätsprüfung wird gewährleistet, dass ein Messsystem im gesamten relevanten Messbereich verhältnisgleich 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 6.5 angegebenen Linearitätskriterien mit den Bezugswerten abgeglichen.

▼B

8.1.4.2. Leistungsanforderungen

Erfüllt ein Messsystem die anwendbaren Linearitätskriterien gemäß Tabelle 6.5 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:

a) 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 Nummer 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 Nummer 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 $y_{refi}$, 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 selbstständigem Druck und selbstständiger 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 den Empfehlungen des Geräteherstellers und nach bestem fachlichen Ermessen zu treffen.

g) Bezugsmengen sind wie in Nummer 8.1.4.4 beschrieben zu erzeugen und einzuleiten. Bei Gasanalysatoren sind Gaskonzentrationen zu verwenden, die bekanntermaßen den Spezifikationen gemäß Nummer 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 6.7 angegebenen Mindestaufzeichnungsfrequenz über 30 s zu messen und der arithmetische Mittelwert $\overline{y}_i$ der erfassten Werte ist aufzuzeichnen.

j) Die in den Buchstaben g bis i dieser Nummer genannten Schritte sind zu wiederholen, bis alle Bezugsgrößen gemessen sind.

▼B

k) Der arithmetische Mittelwert $\bar{y}_i$und die Bezugswerte $y_{refi}$ sind für die Berechnung der Parameter der linearen Regression nach der Fehlerquadratmethode sowie von statistischen Werten zum Abgleich mit den in Tabelle 6.5 festgelegten Mindestleistungskriterien zu verwenden. Die Berechnung ist nach Anhang VII Anlage 3 vorzunehmen.

8.1.4.4. Bezugssignale

Diese Nummer enthält eine Beschreibung der empfohlenen Verfahren zur Erzeugung von Bezugswerten für das Linearitätsprüfungsprotokoll gemäß Nummer 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 mit 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 6.5 enthält eine Aufstellung der Messsysteme, die eine Linearitätsprüfung erfordern. Für diese Tabelle gelten folgende Bestimmungen:

a) Wenn vom Gerätehersteller 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 $a_1$ $0{,}98 \leq a_1 \leq 1{,}02$.

▼B

e) Bei Systemen, die den in Nummer 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 % entsprechen, sind keine Linearitätsprüfungen erforderlich.

f) $a_1$-Kriterien für diese Größen sind nur einzuhalten, wenn anstelle eines Signals, das nur linear verhältnisgleich zum tatsächlichen Wert ist, der Absolutwert der Messgröße gefordert ist.

g) Zu den selbstständigen 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 erforderlich: Luftansaugung, Nachbehandlungssysteme (für Motoren, die mit Abgasnachbehandlungssystemen 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 mithilfe 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 geprüft wurden, der einen Ladeluftkühler für mobile Maschinen und Geräte simuliert), Kühlmitteleintritt des Ladeluftkühlers in der Prüfzelle (für Motoren, die auf einem Prüfstand mit einem Wärmetauscher geprüft wurden, der einen Ladeluftkühler für mobile Maschinen und Geräte simuliert), Öl im Sumpf/in der Wanne und Kühlmittel vor dem Thermostat (für flüssigkeitsgekühlte Motoren).

h) Zu den selbstständigen 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: Begrenzung des Ansaugluftdrucks, Abgasgegendruck, Barometer, Manometerdruck am CVS-Eintritt (wenn die Messung mittels CVS erfolgt), Kühlapparatproben (bei Systemen für gasförmige Proben, in denen Proben mithilfe 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 geprüft wurden, der einen Ladeluftkühler für mobile Maschinen und Geräte simuliert), Kraftstoffzufuhr und Kraftstoffaustritt.

▼B

*Tabelle 6.5*

**Messsysteme, die eine Linearitätsprüfung erfordern**

| Messsystem | Messgröße | Mindesthäufigkeit der Überprüfung | Linearitätskriterien | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\lvert x_{min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 \rvert$ | $\alpha$ | 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 |
| Ansaugluftdurchsatz (1) | $q_V$ | Binnen 370 Tagen vor der Prüfung | $\leq$ 1 % $q_{V,\ max}$ | 0,98-1,02 | $\leq$ 2 % $q_{V,\ max}$ | $\geq$ 0,990 |
| Verdünnungsluftdurchsatz (1) | $q_V$ | 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 (1) | $q_V$ | 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 Rohabgases (1) | $q_V$ | Binnen 185 Tagen vor der Prüfung | $\leq$ 1 % $q_{V,\ max}$ | 0,98-1,02 | $\leq$ 2 % $q_{V,\ max}$ | $\geq$ 0,990 |
| Stichprobenentnehmer-Durchsatz[1] | $q_V$ | 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 |
| Selbstständige 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 selbstständigen Temperatursignalen | $T$ | Binnen 370 Tagen vor der Prüfung | $\leq$ 1 % $T_{max}$ | 0,99-1,01 | $\leq$ 1 % $T_{max}$ | $\geq$ 0,998 |

(1) Unter der „Messgröße“ kann anstelle des Norm-Volumendurchsatzes auch der Moldurchsatz verstanden werden. In diesem Fall kann in den entsprechenden Linearitätskriterien der maximale Moldurchsatz anstelle des maximalen Norm-Volumendurchsatzes verwendet werden.

▼B

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 Nummer 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 Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) oder RMC verwendet werden, nicht hingegen bei Gasanalysatorensystemen für Stichproben oder bei Systemen von kontinuierlichen Gasanalysatoren, die nur für einen Einzelphasen-NRSC 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.

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

Alle Daten (Konzentration, Kraftstoff- und Luftdurchsatz) sind vor der Durchführung der Emissionsberechnungen nach Anhang VII um ihre gemessenen Ansprechzeiten zu verschieben.

b) Zum Nachweis einwandfreier Aktualisierungs- und Aufzeichnungsfunktionen im Hinblick auf das Ansprechverhalten des Gesamtsystems muss das System eines der folgenden Kriterien erfüllen:

i) Das Produkt aus der mittleren Anstiegzeit und der Frequenz, mit der das System eine aktualisierte Konzentration erfasst, muss mindestens 5 betragen. Die mittlere Anstiegzeit darf in keinem Fall mehr als 10 s betragen.

▼B

ii) Die Frequenz, mit der das System die Konzentration erfasst, muss mindestens 2 Hz betragen (siehe auch Tabelle 6.7).

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 Sondeneintritt des Probenahmesystems oder ein T-Stück in der Nähe des Sondenaustritts zu steuern. In der Regel ist der Gasdurchsatz höher als der Probendurchsatz der Sonde und der Überschuss wird über den Sondeneintritt abgeleitet. Liegt der Gasdurchsatz unterhalb des Sondendurchsatzes, 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.

Mithilfe eines Gasteilers wird ein NO-CO-$CO_2$-$C_3H_8$-$CH_4$-Justiergas (Rest $N_2$) zu gleichen Teilen mit einem $NO_2$-Justiergas (Rest gereinigte synthetische Luft) vermischt. Gegebenenfalls können anstelle von vermischtem NO-CO-$CO_2$-$C_3H_8$-$CH_4$-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.

▼B

c) Bei der Datenerfassung ist folgendermaßen vorzugehen:

i) Das Ventil wird betätigt, um den Durchfluss von Nullgas zu aktivieren.

ii) Die Stabilisierung ist abzuwarten, um Transportverzögerungen auszugleichen und ein volles Ansprechen des langsamsten Analysators zu erlauben.

iii) Die Datenaufzeichnung wird mit der bei der Emissionsprüfung verwendeten Frequenz aufgenommen. Bei jedem aufgezeichneten Wert muss es sich um eine einzelne, aktualisierte, vom Analysator gemessene Konzentration handeln; aufgezeichnete Werte dürfen nicht durch Interpolation oder Filterung verändert werden.

iv) Das Ventil wird betätigt, um die vermischten Justiergase in die Analysatoren einzuleiten. Die dafür benötigte Zeit wird als $t_0$ erfasst.

v) 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 dieser Nummer 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 aus Nummer 8.1.5.4 Buchstabe c dienen zur Berechnung der mittleren Anstiegszeit für jeden der Analysatoren.

a) Soll die Einhaltung von Nummer 8.1.5.3 Buchstabe b Ziffer i nachgewiesen werden, ist folgendermaßen vorzugehen: Die Anstiegzeiten (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 Anstiegzeit nach Bedarf zu erhöhen. Zur Erhöhung der Anstiegzeit können auch Digitalfilter konfiguriert werden.

b) Soll die Einhaltung von Nummer 8.1.5.3 Buchstabe b Ziffer ii nachgewiesen werden, genügt es, die Erfüllung der Anforderungen nach Nummer 8.1.5.3 Buchstabe b Ziffer ii nachzuweisen.

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

▼B

für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) oder RMC verwendet werden. Nicht erforderlich ist diese Überprüfung bei Gasanalysatoren für Stichproben oder bei kontinuierlichen Gasanalysatoren, die nur für einen Einzelphasen-NRSC eingesetzt werden. Diese Überprüfung ist nicht auf die Korrektur für im Rahmen der Nachbearbeitung aus der Probe entnommenes Wasser anwendbar. Sie ist nach der Erstinstallation (d. h. der Inbetriebnahme der Prüfzelle) durchzuführen. Nach umfangreichen Wartungstätigkeiten kann gemäß Nummer 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 Nummer 8.1.5.3 Buchstabe a festgelegten Anforderungen hinsichtlich allgemeiner Ansprechzeit und Anstiegzeit gelten auch für Kompensationsanalysatoren. Wenn sich die Aufzeichnungsfrequenz von der Aktualisierungsfrequenz des kontinuierlich kombinierten/kompensierten Signals unterscheidet, ist für die gemäß Nummer 8.1.5.3 Buchstabe b Ziffer i geforderte Überprüfung die niedrigere der beiden Frequenzen zu verwenden.

8.1.6.4. Verfahren

Alle Verfahren unter Nummer 8.1.5.4 Buchstabe a bis c sind zu verwenden. Zudem sind auch das Ansprechverhalten und die Anstiegzeit von Wasserdampf zu messen, wenn ein Kompensierungsalgorithmus auf der Grundlage von gemessenem Wasserdampf eingesetzt wird. In diesem Fall muss zumindest eines der verwendeten Kalibriergase (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 die einschlägige Überprüfung bestanden hat, kann das befeuchtete Gasgemisch hinter dem Probentrockner eingeleitet werden, indem es bei 298 ± 10 K (25 ± 10 °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 K (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.

▼B

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 Drehmomentsensors 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 Geräteherstellers 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 Nummer 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 Geräteherstellers zu beachten, und die Kalibrierung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen.

▼B

8.1.8.2. Kalibrierung des Ansaugluftdurchsatzes

Geräte zur Messung des Ansaugluftdurchsatzes sind bei der Erstinstallation zu kalibrieren. Dabei sind die Anweisungen des Geräteherstellers 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 Geräteherstellers 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 Probenahmesystemen mit konstantem Volumen (CVS) 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 Nummer 8.1.8.5 festgestellten Mängeln versagen, erforderlich.

c) Ein CVS-Durchsatzmessgerät wird mithilfe 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 ± 1 % Messunsicherheit auf internationale Normen rückführbar sind. Die Durchsatzmessung des Bezugsdurchsatzmessgeräts dient als Bezugswert für die Kalibrierung des CVS-Durchsatzmessgeräts.

d) Die Verwendung einer vorgeschalteten Blende oder eines sonstigen Druckbegrenzers, der sich auf den Durchsatz vor dem Bezugsdurchsatzmessgerät auswirken könnte, ist nicht zulässig, es sei denn, diese Druckbegrenzung wurde bei der Kalibrierung des Durchsatzmessgeräts berücksichtigt.

e) Der in Nummer 8.1.8.4 beschriebene Kalibrierungsablauf bezieht sich auf den molbasierten Ansatz. Für den entsprechenden Ablauf beim massenbasierten Ansatz siehe Anhang VII Nummer 2.5.

f) Nach Wahl des Herstellers können das kritisch durchströmte Venturirohr oder das subsonische Venturirohr zur Kalibrierung auch von ihrer ständigen Position entfernt werden, solange folgende Anforderungen erfüllt sind, wenn das Venturirohr in das CVS eingebaut ist:

1) Bei der Installation des kritisch durchströmten oder subsonischen Venturirohrs in das CVS ist nach bestem fachlichen Ermessen zu prüfen, dass keine Undichtigkeiten zwischen dem Einlass des CVS und dem Venturirohr entstanden sind.

▼B

2) Nach der Ex-situ-Kalibrierung des Venturirohres sind bei kritisch durchströmten Venturirohren alle Durchsatzkombinationen und bei subsonischen Venturirohren mindestens 10 Durchsatzpunkte mithilfe der Propankontrolle gemäß Nummer 8.1.8.5 zu prüfen. Das Ergebnis der Propankontrolle für jeden Venturi-Durchsatzpunkt darf die Toleranz nach Nummer 8.1.8.5.6 nicht überschreiten.

3) Die Ex-situ-Kalibrierung eines CVS mit mehr als einem kritisch durchströmten Venturirohr ist folgendermaßen zu überprüfen:

i) Mittels einer Vorrichtung mit konstantem Durchsatz ist ein konstanter Durchfluss des Propans zum Verdünnungstunnel zu erzeugen.

ii) Die Kohlenwasserstoffkonzentration ist bei subsonischen Venturirohren mit mindestens 10 unterschiedlichen Durchsätzen und bei kritisch durchströmten Venturirohren mit allen möglichen Durchsatzkombinationen zu messen, wobei der Propandurchsatz konstant zu halten ist.

iii) Die Kohlenwasserstoff-Hintergrundkonzentration in der Verdünnungsluft ist zu Beginn und am Ende der Prüfung zu messen. Die durchschnittliche Hintergrundkonzentration von jeder Messung an jedem Durchsatzpunkt ist vor der Durchführung der Regressionsanalyse nach Ziffer iv abzuziehen.

iv) Bei der Regression für die Leistung ist unter Berücksichtigung aller Paare von Durchsatz- und berichtigten Konzentrationswerten eine Beziehung in der Form $y = a \times x^b$ zu ermitteln, wobei die Konzentration als unabhängige und der Durchsatz als abhängige Variable zu verwenden ist. Für jeden Messpunkt ist die Differenz zwischen dem gemessenen Durchsatz und dem aus der Kurve hervorgehenden Wert zu errechnen. Die Differenz muss in jedem Punkt weniger als ± 1 % des entsprechenden Regressionswertes betragen. Der Wert für b muss zwischen – 1,005 und – 0,995 liegen. Wenn die Ergebnisse diese Grenzwerte nicht einhalten, sind unter Einhaltung von Nummer 8.1.8.5.1 Buchstabe a Abhilfemaßnahmen zu treffen.

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 6.5 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 Druckbegrenzungs- und am niedrigsten PDP-Drehzahlpunkt.

c) Während des PDP-Betriebs muss am PDP-Eintritt eine konstante Temperatur im Bereich von ± 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.

▼B

f) Die PDP wird mindestens 3 Minuten betrieben, damit sich das System stabilisieren kann. Während die PDP kontinuierlich weiterläuft, werden die Mittelwerte der in einem Zeitraum von mindestens 30 s erfassten Daten für jede der folgenden Messgrößen aufgezeichnet:

i) mittlerer Durchsatz des Bezugsdurchsatzmessgeräts $\overline{q}_{V\mathrm{ref}}$;

ii) mittlere Temperatur am PDP-Eintritt $T_{\mathrm{in}}$

iii) mittlerer statischer absoluter Druck am PDP-Eintritt $p_{\mathrm{in}}$

iv) mittlerer statischer absoluter Druck am PDP-Austritt $p_{\mathrm{out}}$

v) mittlere PDP-Drehzahl $n_{\mathrm{PDP}}$

g) Das Begrenzerventil wird schrittweise geschlossen, um den absoluten Druck am PDP-Eintritt $p_{\mathrm{in}}$ abzusenken.

h) Die Schritte gemäß Nummer 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 Anhang VII zu kalibrieren.

j) Die Schritte nach den Buchstaben f bis i dieser Nummer sind für jede Drehzahl, mit der die PDP betrieben wird, zu wiederholen.

k) Die Gleichungen in Anhang VII Nummer 3 (molbasierter Ansatz) bzw. Anhang VII Abschnitt 2 (massenbasierter Ansatz) dienen zur Ermittlung der PDP-Durchsatzgleichung für die Emissionsprüfung.

l) Die Kalibrierung ist mithilfe einer CVS-Überprüfung (d. h. einer Propankontrolle) gemäß Nummer 8.1.8.5 zu überprüfen.

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 Durchsatzkoeffizient $C_{\mathrm{d}}$ 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 6.5 dargestellt.

b) Das Gebläse wird hinter dem CFV eingeschaltet.

c) Während des CFV-Betriebs muss am CFV-Eintritt eine konstante Temperatur im Bereich von ± 2 % der mittleren absoluten Eintrittstemperatur $T_{\mathrm{in}}$ gewahrt werden.

d) Lecks zwischen dem Durchsatzmessgerät zur Kalibrierung und dem CFV müssen kleiner als 0,3 % des Gesamtdurchsatzes bei der höchsten Druckbegrenzung sein.

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.

▼B

f) Das CFV wird mindestens 3 Minuten betrieben, damit sich das System stabilisieren kann. Während das CFV kontinuierlich weiterläuft, werden die Mittelwerte der in einem Zeitraum von mindestens 30 s erfassten Daten für jede der folgenden Messgrößen aufgezeichnet:

i) mittlerer Durchsatz des Bezugsdurchsatzmessgeräts $\overline{q}_{V\mathrm{ref}}$;

ii) optional: mittlerer Taupunkt der Kalibrierluft $T_{\mathrm{dew.}}$ Siehe Anhang VII für zulässige Annahmen während der Emissionsmessung

iii) mittlere Temperatur am Eintritt des Venturirohrs $T_{\mathrm{in}}$

iv) mittlerer statischer absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs $p_{\mathrm{in}}$

v) mittlerer statischer Differenzdruck zwischen CFV-Eintritt und CFV-Austritt $\Delta p_{\mathrm{CFV}}$

g) Das Begrenzerventil wird schrittweise geschlossen, um den absoluten Druck am CFV-Eintritt $p_{\mathrm{in}}$ abzusenken.

h) Die Schritte gemäß den Buchstaben f und g dieser Nummer werden wiederholt, bis Mittelwerte an mindestens zehn Begrenzerpositionen erfasst sind, sodass während der Prüfung der erwartete praktische Bereich des Werts $\Delta p_{\mathrm{CFV}}$ möglichst vollständig abgedeckt ist. Es müssen keine Kalibrierungskomponenten oder CVS-Komponenten entfernt werden, um bei geringstmöglicher Druckbegrenzung zu kalibrieren.

i) $C_{\mathrm{d}}$ und das höchste zulässige Druckverhältnis $r$ sind gemäß Anhang VII zu ermitteln.

j) $C_{\mathrm{d}}$ dient zur Bestimmung des CFV-Durchsatzes während einer Emissionsprüfung. Das CFV darf nicht oberhalb des höchsten zulässigen Werts $r$, der gemäß Anhang VII ermittelt wurde, eingesetzt werden.

k) Die Kalibrierung ist mithilfe einer CVS-Überprüfung (d. h. einer Propankontrolle) gemäß Nummer 8.1.8.5 zu überprüfen.

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 Abschnitt und Anhang VII zu kalibrieren. Siehe Anhang VII für Anweisungen zur Berechnung von Durchsätzen für diese Option.

ii) Jedes CFV ist gemäß dieser Nummer und Anhang VII zu kalibrieren. Siehe Anhang VII 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 $C_{\mathrm{d}}$ für den erwarteten Bereich von Eintrittsdrücken ermittelt. Ein SSV-Durchsatzmessgerät wird folgendermaßen kalibriert:

a) Das System ist anzuschließen, wie in Abbildung 6.5 dargestellt.

▼B

b) Das Gebläse wird hinter dem SSV eingeschaltet.

c) Lecks zwischen dem Durchsatzmessgerät zur Kalibrierung und dem SSV müssen kleiner als 0,3 % des Gesamtdurchsatzes bei der höchsten Druckbegrenzung 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 der in einem Zeitraum von mindestens 30 s erfassten Daten für jede der folgenden Messgrößen aufgezeichnet:

   i) mittlerer Durchsatz des Bezugsdurchsatzmessgeräts $\overline{q}_{V\mathrm{ref}}$;

   ii) optional: mittlerer Taupunkt der Kalibrierluft $T_{\mathrm{dew.}}$ Siehe Anhang VII 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 $\Delta p_{SSV}$

g) Das Begrenzerventil wird schrittweise geschlossen bzw. die Gebläseleistung reduziert, um den Durchsatz zu verringern.

h) Die Schritte gemäß den Buchstaben f und g dieser Nummer werden wiederholt, bis Daten bei mindestens zehn Durchsatzwerten erfasst sind.

i) Anhand der gesammelten Daten und der Gleichungen in Anhang VII ist eine Funktionsform von $C_d$ bezogen auf *Re* zu ermitteln.

j) Die Kalibrierung kann mithilfe einer CVS-Überprüfung (d. h. einer Propankontrolle) gemäß Nummer 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.

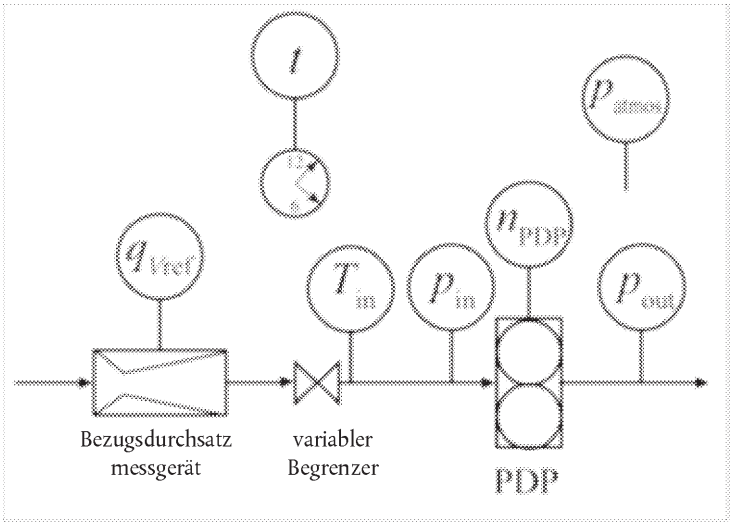
l) Die Gleichungen in Anhang VII Nummer 3 (molbasierter Ansatz) bzw. Anhang VII Abschnitt 2 (massenbasierter Ansatz) dienen zur Ermittlung des SSV-Durchsatzes während der Emissionsprüfung.

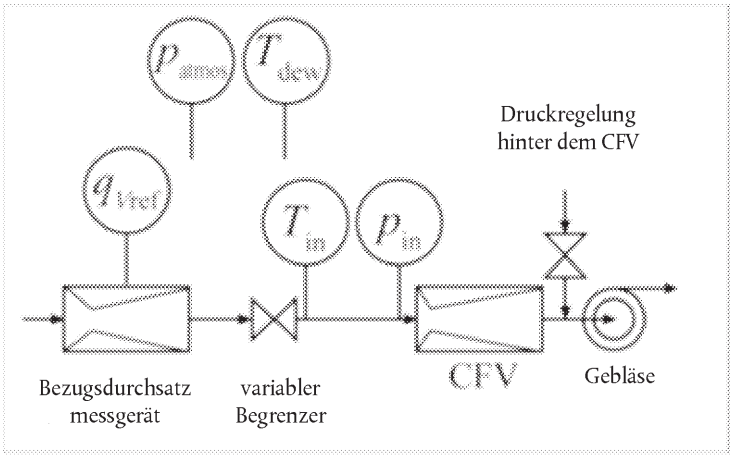
▼B

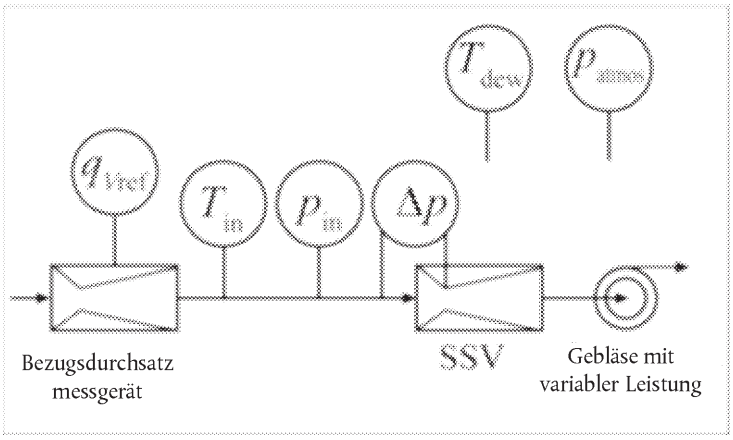
8.1.8.4.5. Ultraschallkalibrierung (reserviert)

*Abbildung 6.5*

**Schematische Darstellung der Kalibrierung des CVS für den Durchsatz des verdünnten Abgases**



▼B

8.1.8.5. Überprüfung von CVS und Stichprobenentnehmer (Propankontrolle)

8.1.8.5.1. Einleitung

a) Eine Propankontrolle dient als CVS-Überprüfung, bei der festgestellt wird, ob eine Abweichung hinsichtlich der Messwerte des Durchsatzes des verdünnten Abgases besteht. Mithilfe einer Propankontrolle wird auch der Probenentnehmer überprüft, um Abweichungen im Stichprobenahmesystem, das Proben aus einem CVS entnimmt, wie in Buchstabe f dieser Nummer 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 Nummer 8.1.8.7 durchzuführen.

   iii) Die angemessene Durchmischung ist gemäß Nummer 9.2.2 zu überprüfen.

   iv) Die Überprüfung der Verunreinigung des Probenahmesystems mit Kohlenwasserstoff erfolgt gemäß Nummer 7.3.1.2.

   v) Veränderung der CVS-Kalibrierung. Das CVS-Durchsatzmessgerät wird in situ gemäß Nummer 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 Abschnitt 2 von Anhang VII (massenbasierter Ansatz) oder Abschnitt 3 des Anhangs VII (molbasierter Ansatz). In Nummer 8.1.8.5 und Anhang VII darf nicht von einem idealen Gas ausgegangen werden. Bei der Propankontrolle wird die berechnete Masse des eingeleiteten $C_3H_8$ mithilfe 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. Der Schadstoff wird analysiert und die Masse gemäß Anhang VII 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 ± 0,01 g genau zu bestimmen. Dann wird das CVS-System 5 bis 10 Minuten wie für eine normale Prüfung zur Bestimmung der Abgasemissionen betrieben, wobei Kohlenmonoxid oder Propan in das System eingeleitet 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.

▼B

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 ± 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 Motorabgassystem in das CVS mündet, 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 Nummer 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 dieser Nummer durchgeführt werden. Wird diese Vorgehensweise gewählt, kann auf das Verfahren zur Prüfung der Verunreinigung mit HC gemäß Nummer 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.

▼B

f) Übersteigt die HC-Überlaufkonzentration 2 µmol/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) Wenn die HC-Überlaufkonzentration 2 µmol/mol nicht überschreitet, ist dieser Wert als $x_{HCinit}$ aufzuzeichnen und zum Ausgleich der Verunreinigung mit HC, wie in Anhang VII Abschnitt 2 (massenbasierter Ansatz) bzw. Anhang VII Abschnitt 3 (molbasierter 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 den Anweisungen des Geräteherstellers 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 einzuschalten

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 Nummer 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.

▼B

vi) Mit der Probenahme wird begonnen. Sobald gewährleistet ist, dass die HC-Konzentration stabil ist, können etwaige Durchsatzintegratoren eingeschaltet werden.

vii) Der Inhalt der Zylinder wird weiter freigesetzt, bis die freigesetzte Menge $C_3H_8$ 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, sind diese so bald wie möglich zu analysieren.

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 Anhang VII unter Verwendung der Molmasse von $C_3H_8$, $M_{C3H8}$ anstelle der effektiven Molmasse von HC, $M_{HC}$, zu berechnen.

d) Wird eine Bezugsmasse verwendet (gravimetrisches Verfahren), ist die Propanmasse des Zylinders auf ± 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 ± 3,0 % der Bezugsmasse, hat das CVS diese Prüfung bestanden.

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 den 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 Stichprobenentnehmers konfiguriert. Ist der absolute Druck an dieser Stelle zur Entnahme einer HC-Probe zu gering, kann HC am Pumpenaustritt des Stichprobenentnehmers entnommen werden. Bei der Entnahme von Proben am Pumpenaustritt ist jedoch Vorsicht geboten, da ein unter anderen Umständen tolerierbares Pumpenleck hinter dem Durchsatzmessgerät des Stichprobenentnehmers zu einem fälschlich negativen Ergebnis bei der Propankontrolle führt.

b) Die Propankontrolle ist wie in diesem Absatz beschrieben zu wiederholen, wobei HC aus dem Stichprobenentnehmer entnommen wird.

c) Die $C_3H_8$-Masse wird unter Berücksichtigung einer etwaigen Sekundärverdünnung durch den Stichprobenentnehmer berechnet.

d) Die $C_3H_8$-Bezugsmasse ist von der berechneten Masse abzuziehen. Bewegt sich die Differenz innerhalb von ± 5 % der Bezugsmasse, hat der Stichprobenentnehmer diese Prüfung bestanden. Andernfalls sind Abhilfemaßnahmen zu ergreifen.

▼B

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, wie gemäß Nummer 9.3.2.3.1 zulässig, zum Abscheiden von Wasser aus dem Probengas ein Probentrockner 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 Probengas den Analysator erreicht. Beispielsweise kann Wasser das $NO_x$-Ansprechverhalten eines CLD durch Stoßlöschung beeinträchtigen, sodass zu niedrige Werte gemessen werden, während es andererseits einen NDIR-Analysator stören kann, indem es ein mit CO vergleichbares Ansprechverhalten hervorruft, sodass zu hohe Werte erzielt werden.

c) Der Probentrockner muss die in Nummer 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 nach bestem fachlichen Ermessen ein anderes Verfahren zu entwickeln:

   i) Zur Herstellung der benötigten Verbindungen werden Rohre aus Polytetrafluorethylen (PTFE) oder rostfreiem Stahl verwendet.

   ii) $N_2$ 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 Abschnitts unterhalb des Taupunkts gemäß der Spezifikation des Probentrockners nach Nummer 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.

▼B

8.1.8.6. Regelmäßige Kalibrierung von Teilstrom-Messsystemen für PM und das entsprechende Messsystem für das Rohabgas

8.1.8.6.1. Spezifikationen für die Messung des Differenzdurchsatzes

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen zur Entnahme einer verhältnisgleichen Rohabgasprobe ist die Genauigkeit der Messung des Probendurchsatzes $q_{mp}$ besonders wichtig, wenn dieser nicht unmittelbar, sondern durch die Messung des Differenzdurchsatzes gemäß der Gleichung 6-20 ermittelt wird:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \quad (6\text{-}20)$$

Dabei ist:

$q_{mp}$ der Massendurchsatz der in das Teilstrom-Verdünnungssystem einströmenden Abgasprobe

$q_{mdw}$ der Massendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht

$q_{mdew}$ der 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 ± 5 Prozent 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:

a) Die absoluten Genauigkeiten von $q_{mdew}$ und $q_{mdw}$ betragen ± 0,2 %, wodurch für $q_{mp}$ bei einem Verdünnungsverhältnis von 15 eine Genauigkeit von ≤ 5 % gewährleistet wird. Allerdings treten bei höheren Verdünnungsverhältnissen größere Fehler auf.

b) Die Kalibrierung von $q_{mdw}$ gegenüber $q_{mdew}$ wird so ausgeführt, dass für $q_{mp}$ dieselben Genauigkeiten wie im voranstehenden Absatz a erzielt werden. Nähere Ausführungen dazu enthält Nummer 8.1.8.6.2.

c) Die Genauigkeit von $q_{mp}$ wird mittelbar aus der mit einem Spürgas, z. B. $CO_2$, ermittelten Genauigkeit des Verdünnungsverhältnisses abgeleitet. Auch hier werden für $q_{mp}$ die gleichen Genauigkeiten wie unter Buchstabe a gefordert.

d) Die absolute Genauigkeit von $q_{mdew}$ und $q_{mdw}$ beträgt ± 2 % des Skalenendwerts, der Höchstfehler der Differenz zwischen $q_{mdew}$ und $q_{mdw}$ 0,2 %, und der Linearitätsfehler ± 0,2 % des höchsten während der Prüfung beobachteten Wertes von $q_{mdew}$.

8.1.8.6.2. Kalibrierung für die Messung des Differenzdurchsatzes

Das Teilstrom-Verdünnungssystem zur Entnahme einer verhältnisgleichen Rohgasprobe muss regelmäßig mit einem genauen, auf internationale und/oder nationale Normen rückführbaren Durchsatzmessgerät kalibriert werden. Der Durchsatzmesser bzw. die Durchsatzmesseinrichtungen müssen mit einem der folgenden Verfahren kalibriert werden, damit der Probefluss $q_{mp}$ in den Tunnel die Genauigkeitsanforderungen von Nummer 8.1.8.6.1 erfüllt.

a) Der Durchsatzmesser für $q_{mdw}$ ist mit dem Durchsatzmesser für $q_{mdew}$ in Reihe zu schalten und die Differenz zwischen den beiden Durchsatzmessern ist für mindestens fünf Einstellwerte zu kalibrieren, wobei die Durchsatzwerte gleichmäßig auf den Abstand zwischen dem tiefsten bei der Prüfung verwendeten Wert für $q_{mdw}$ und dem bei der Prüfung verwendeten Wert für $q_{mdew}$ verteilt sind. Der Verdünnungstunnel kann umgangen werden.

▼B

b) An den Durchsatzmesser für $q_{mdew}$ ist ein kalibriertes Durchsatzmessgerät anzuschließen, und die Genauigkeit für den bei der Prüfung verwendeten Wert ist zu überprüfen. Anschließend ist das kalibrierte Massendurchsatzmessgerät in Reihe an den Durchsatzmesser für $q_{mdw}$ anzuschließen und die Genauigkeit für mindestens fünf Einstellungen zu überprüfen, die einem Verdünnungsverhältnis zwischen 3 und 15, bezogen auf das bei der Prüfung verwendete $q_{mdew}$, entsprechen.

c) Die Übertragungsleitung TL (siehe Abbildung 6.7) wird vom Abgassystem getrennt und an kalibriertes Messgerät mit einem zur Messung von $q_{mp}$ geeigneten Messbereich an das Übertragungsrohr angeschlossen. Danach ist $q_{mdew}$ auf den bei der Prüfung verwendeten Wert und $q_{mdw}$ nacheinander auf mindestens fünf Werte einzustellen, die den 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.

d) In die Abgasübertragungsleitung TL ist ein Spürgas 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 Probenstroms ist aus dem Verdünnungsverhältnis $r_d$ nach der Gleichung 6-21 zu ermitteln.

$$q_{mp} = q_{mdew} / r_d \quad (6\text{-}21)$$

Die Genauigkeiten der Gasanalysegeräte 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 einer anderen stabilen Betriebsart gefahren, die mindestens 5 % $CO_2$ produziert. Das Teilstrom-Probenahmesystem wird mit einem Verdünnungsfaktor von etwa 15 zu 1 betrieben.

Bei Kohlenstoffdurchsatzprüfungen ist das in Anhang VII Anlage 2 angegebene Verfahren anzuwenden. Die Kohlenstoffdurchsätze werden nach den Gleichungen von Anhang VII Anlage 2 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 Durchsatzmesser ist mit derselben Methode zu prüfen wie für die Kalibrierung (siehe Nummer 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 Nummer 8.1.8.6.2 nachweisen, dass die Kalibrierung des Durchsatzmessers über längere Zeiträume stabil ist, kann auf die Vorprüfung verzichtet werden.

▼B

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 gemäß der Definition in Anlage 5 Nummer 2.4 dieses Anhangs und in Abbildung 6-11 ist nach folgendem Verfahren zu bestimmen:

Ein unabhängiger Bezugsdurchsatzmesser mit einem für den Probenstrom geeigneten Messbereich wird in Reihe zur Sonde angebracht und mit ihr eng 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 Durchflussdruckbegrenzung nach bestem fachlichen Ermessen so niedrig gewählt sein muss, dass die dynamische Leistung des Teilstrom-Verdünnungssystems nicht beeinträchtigt wird. Der in das Teilstrom-Verdünnungssystem einströmende Abgasstrom (bzw. Luftstrom, wenn der Abgasstrom berechnet wird) wird schrittweise verändert, und zwar von einem geringen Durchfluss bis auf mindestens 90 % des Skalenendwertes. Als Auslöser für den Veränderungsschritt ist derselbe zu verwenden, der das Einschalten der vorausschauenden Steuerung bei der eigentlichen Prüfung verwendet wird. Das Auslösesignal des Abgasverdünnungsschritts und das Ansprechen des Durchflussmessers sind mit einer Abtastfrequenz von mindestens 10 Hz aufzuzeichnen.

Anhand dieser Daten ist die Umwandlungszeit für das Teilstrom-Verdünnungssystem zu bestimmen, d.h. die Zeit vom Beginn des Eingangssignals des Verdünnungsschritts bis zu dem Punkt, an dem der Durchsatzmesser zu 50 % anspricht. Auf ähnliche Weise werden die Wandlungszeiten des Signals $q_{mp}$ (d. h. Probendurchsatz des Abgases in das Teilstrom-Verdünnungssystem) und des Signals $q_{mew,i}$ (d. h. mit dem Abgasdurchsatzmessgerät ermittelter Massendurchsatz des Abgases, feucht) bestimmt. Diese Signale werden bei den nach jeder Prüfung durchgeführten Regressionsprüfungen verwendet (siehe Nummer 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 Transformationszeit (< 100 ms) des Bezugsdurchsatzmessers ist von diesem Wert zu subtrahieren. Falls eine vorausschauende Steuerung erforderlich ist, ist der vorausschauende Wert des Teilstromverdünnungssystems gemäß Absatz 8.2.1.2 anzuwenden.

8.1.8.7. Leckprüfung auf der Unterdruckseite

8.1.8.7.1. Umfang und Häufigkeit

Bei der Erstinstallation des Probenahmesystems, nach umfangreichen Wartungstätigkeiten wie Vorfilterwechseln und binnen acht Stunden vor jeder Lastzyklus-Abfolge ist mithilfe 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:

▼B

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 leckagefreies Ventil wird geschlossen.

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 Anhang VII Abschnitt 2 oder 3 über HC-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 ± 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 Nummern 8.1 und 9.4 erfüllen.

▼B

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 leckagefreies 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 Gleichung 6-22 wird überprüft, dass der Leckdurchsatz bei der Abnahme des Unterdrucks weniger als 0,5 % des tatsächlichen Durchsatzes des Systems beim Gebrauch entspricht:

$$q_{V\text{leak}} = \frac{V_{\text{vac}}}{R} \frac{\left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1}\right)}{(t_2 - t_1)} \qquad (6\text{-}22)$$

Dabei ist:

$q_{V\text{leak}}$ die Leckrate bei der Abnahme des Unterdrucks, mol/s

$V_{\text{vac}}$ das geometrische Volumen der Unterdruckseite des Probenahmesystems, $m_3$

$R$ die molare Gaskonstante, J/(mol · K)

$p_2$ der unterdruckseitige absolute Druck zum Zeitpunkt $t_2$, Pa

$T_2$ die unterdruckseitige absolute Temperatur zum Zeitpunkt $t_2$, K

$p_1$ der unterdruckseitige absolute Druck zum Zeitpunkt $t_1$, Pa

$T_1$ die unterdruckseitige absolute Temperatur zum Zeitpunkt $t_1$, K

$t_2$ die Zeit beim Abschluss der Leckprüfung durch Messung der Abnahme des Unterdrucks, s

$t_1$ die Zeit beim Beginn der Leckprüfung durch Messung der Abnahme des Unterdrucks, s

▼B

8.1.9. CO- und $CO_2$-Messungen

8.1.9.1. Überprüfung der $H_2O$-Querempfindlichkeit von $CO_2$-NDIR-Analysatoren

8.1.9.1.1. Umfang und Häufigkeit

Wird $CO_2$ mithilfe eines NDIR-Analysators gemessen, muss die $H_2O$-Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.9.1.2. Messgrundsätze

$H_2O$ kann das Ansprechverhalten eines NDIR-Analysators auf $CO_2$ 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 $H_2O$-Querempfindlichkeit eines $CO_2$-NDIR-Analysators muss im Bereich von (0,0 ± 0,4) mmol/mol (der erwarteten mittleren $CO_2$-Konzentration) liegen.

8.1.9.1.4. Verfahren

Die Überprüfung der Querempfindlichkeit ist folgendermaßen durchzuführen:

a) Der $CO_2$-NDIR-Analysator ist wie bei einer Emissionsprüfung einzuschalten, zu betreiben, zu nullen und zu justieren.

b) Ein befeuchtetes Prüfgas wird erzeugt, indem Nullluft, die den Spezifikationen gemäß Nummer 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 $H_2O$-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 $H_2O$-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der gemäß Nummer 9.3.2.3.1 ermittelte Wert.

c) Die Temperatur des befeuchteten Prüfgases muss nach dem Gefäß bei mindestens 5 °K 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 $x_{H2O}$ des befeuchteten Prüfgases wird so nahe wie möglich am Eintritt des Analysators gemessen. Beispielsweise sind zur Berechnung von $x_{H2O}$ 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 $x_{H2O}$ gemessen wird, und dem Analysator ist nach bestem fachlichen Ermessen zu vermeiden.

g) Der Stabilisierung des Ansprechens der Analysatoren muss hinreichend Zeit gelassen werden. 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 lang 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 ± 0,4) mmol/mol liegt.

▼B

8.1.9.2. Überprüfung der $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit von CO-NDIR-Analysatoren

8.1.9.2.1. Umfang und Häufigkeit

Wird CO mithilfe eines NDIR-Analysators gemessen, muss die $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.9.2.2. Messgrundsätze

$H_2O$ und $CO_2$ können den Betrieb eines NDIR-Analysators stören, indem sie ein ähnliches Ansprechverhalten hervorrufen wie CO, sodass 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 $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit eines CO-NDIR-Analysators muss im Bereich von ± 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 einzuschalten, zu betreiben, zu nullen und zu justieren.

b) Ein befeuchtetes $CO_2$-Prüfgas wird erzeugt, indem ein $CO_2$-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 $H_2O$-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 $H_2O$-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der gemäß Nummer 9.3.2.3.1.1 ermittelte Wert. Die Konzentration des $CO_2$-Justiergases muss mindestens so hoch sein wie der während der Prüfung erwartete Höchstwert.

c) Das befeuchtete $CO_2$-Prüfgas wird in das Probenahmesystem eingeleitet. Das befeuchtete $CO_2$-Prüfgas kann hinter dem Probentrockner eingeleitet werden, sofern ein solcher bei der Prüfung verwendet wird.

d) Die Wassermolfraktion $x_{H2O}$ des befeuchteten Prüfgases wird so nahe wie möglich am Eintritt des Analysators gemessen. Beispielsweise sind zur Berechnung von $x_{H2O}$ 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 $x_{H2O}$ gemessen wird, und dem Analysator ist nach bestem fachlichen Ermessen zu vermeiden.

f) Der Stabilisierung des Ansprechens der Analysatoren muss hinreichend Zeit gelassen werden.

g) Während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden mindestens 30 s lang 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.

▼B

i) Querempfindlichkeitsprüfungen für $CO_2$ und $H_2O$ können auch getrennt durchgeführt werden. Falls die verwendeten $CO_2$ und $H_2O$-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 zu dem bei dieser Prüfung verwendeten tatsächlichen Wert. Separate Querempfindlichkeitsprüfungen mit $H_2O$-Konzentrationen, die geringer sind als die bei der Prüfung erwarteten Höchstwerte (bis zu 0,025 mol/mol $H_2O$-Gehalt) dürfen verwendet werden, die beobachtete $H_2O$-Querempfindlichkeit ist jedoch hochzurechnen, und zwar durch Multiplikation des beobachteten Werts mit dem Verhältnis zwischen dem erwarteten Höchstwert der $H_2O$-Konzentration zu dem bei dieser Prüfung verwendeten tatsächlichen Wert. Die Summe der beiden angepassten Querempfindlichkeitswerte muss der in Nummer 8.1.9.2.3 festgelegten Toleranz entsprechen.

8.1.10. Messung von Kohlenwasserstoffen

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 Nummer 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. Der FID ist mit $C_3H_8$-Kalibriergasen zu kalibrieren, die den Spezifikationen in Nummer 9.5.1 entsprechen. Die Kalibrierung muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins ($C_1$) erfolgen.

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 mithilfe von FID-Brennstoff und Nullluft ist unter Beachtung der Anforderungen des Geräteherstellers 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 Nummer 8.1.10.1.1 Buchstabe a und Nummer 8.1.10.2 im gängigsten während der Emissionsprüfung erwarteten Analysatorbereich erfüllt werden. Auf Empfehlung des Geräteherstellers und

▼B

nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Optimierung des FID ein größerer Analysatorbereich verwendet werden, wenn der gängige Analysatorbereich geringer ist als der vom Gerätehersteller 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 Gerätehersteller 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 Ansprechfaktoren bei Kohlenwasserstoffen und den Ergebnissen der Prüfung auf Sauerstoffquerempfindlichkeit nach Nummer 8.1.10.1.1 Buchstabe a und Nummer 8.1.10.2 weiter zu optimieren ist.

iv) Entsprechen die Ansprechfaktoren oder die Sauerststoffquerempfindlichkeit nicht den nachstehenden Vorschriften, so ist der Luftdurchsatz inkrementell ober- und unterhalb der Herstellerangabe zu verstellen, und die Arbeitsgänge nach Nummer 8.1.10.1.1 Buchstabe a und Nummer 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-$CH_4$-Ansprechfaktors

Da FID-Analysatoren generell unterschiedlich auf $CH_4$ im Vergleich zu $C_3H_8$ ansprechen, wird nach der FID-Optimierung der $CH_4$-Ansprechfaktor $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ jedes HC-FID-Analysators bestimmt. Der zuletzt gemessene Wert $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ gemäß diesem Abschnitt wird für die Berechnungen zur HC-Ermittlung nach Anhang VII Abschnitt 2 (massenbasierter Ansatz) oder Anhang VII Abschnitt 3 (molbasierter Ansatz) zum Ausgleich des $CH_4$-Ansprechverhaltens herangezogen. $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ wird wie folgt ermittelt:

a) Zur Justierung des Analysators vor der Emissionsprüfung wird eine Konzentration von $C_3H_8$-Justiergas gewählt. Nur Justiergase, die Nummer 9.5.1 entsprechen, können verwendet werden, und die $C_3H_8$-Konzentration des Gases ist aufzuzeichnen.

▼B

b) Es ist ein $CH_4$-Justiergas auszuwählen, das Nummer 9.5.1 entspricht, und die $CH_4$-Konzentration des Gases ist aufzuzeichnen.

c) Der FID-Analysator ist gemäß Herstelleranweisungen zu betreiben.

d) Es muss bestätigt werden, dass der FID-Analysator mit $C_3H_8$ kalibriert wurde. Die Kalibrierung muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins ($C_1$) erfolgen.

e) Der FID ist mit einem für die Emissionsprüfung verwendeten Nullgas zu nullen.

f) Der FID ist mit dem ausgewählten $C_3H_8$-Justiergas zu justieren.

g) Das nach Buchstabe b ausgewählte $CH_4$-Justiergas ist in den Probeneintritt des FID-Analysators einzuleiten.

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 $CH_4$-Konzentration misst, werden 30 s lang Daten aufgezeichnet und das arithmetische Mittel dieser Werte berechnet.

j) Die mittlere gemessene Konzentration wird durch die aufgezeichnete Justierkonzentration des $CH_4$-Kalibriergases dividiert. Das Ergebnis ist der Wert $CH_4$, $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$, der Ansprechfaktor des FID-Analysators für $CH_4$.

8.1.10.1.5. Überprüfung des HC-FID-Ansprechverhaltens auf Methan ($CH_4$)

Liegt der gemäß Nummer 8.1.10.1.4 ermittelte Wert $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ im Bereich von ± 5,0 % des zuletzt bestimmten Werts, hat der HC-FID die Überprüfung des Methan-Ansprechverhaltens bestanden.

(a) Zuerst wird kontrolliert, dass die Drücke und/oder Durchsätze von FID-Brennstoff, -Brennerluft und Probe im Bereich von ± 0,5 % der zuletzt gemäß Nummer 8.1.10.1.3 erfassten Werte liegen. Müssen diese Durchsätze angepasst werden, ist ein neuer $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ gemäß Nummer 8.1.10.1.4 zu ermitteln. Es ist sicherzustellen, dass der ermittelte Wert $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ der in dieser Nummer festgelegten Toleranz entspricht.

(b) Entspricht $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ nicht der in dieser Nummer festgelegten Toleranz, muss das FID-Ansprechverhalten neuerlich gemäß Absatz 8.1.10.1.3 optimiert werden.

(c) Es ist ein neuer $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ gemäß Absatz 8.1.10.1.4 zu ermitteln. Dieser neue Wert $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ wird für die Berechnungen zur HC-Ermittlung nach Anhang VII Abschnitt 2 (massenbasierter Ansatz) oder Anhang VII Abschnitt 3 (molbasierter Ansatz) herangezogen.

8.1.10.2. Nicht-stöchiometrische Überprüfung der Rohabgas-FID-$O_2$-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-$O_2$-Querempfindlichkeit überprüft werden.

▼B

8.1.10.2.2. Messgrundsätze

Unterschiede in der $O_2$-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-$O_2$-Querempfindlichkeiten zu überprüfen.

8.1.10.2.3. Systemanforderungen

Jeder für die Emissionsprüfung verwendete FID-Analysator muss der Überprüfung der FID-$O_2$-Querempfindlichkeit anhand des in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahrens standhalten.

8.1.10.2.4. Verfahren

Die FID-$O_2$-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 Nummer 9.5.1 erfüllen und die die zur Justierung der Analysatoren vor der Emissionsprüfung verwendete $C_3H_8$-Konzentration aufweisen. Für FID, die mit $CH_4$ ohne Nichtmethan-Cutter kalibriert wurden, sind $CH_4$-Justierbezugsgase auszuwählen. Die drei Ausgleichsgaskonzentrationen sind so zu wählen, dass die $O_2$- und $N_2$-Konzentrationen dem bei der Prüfung erwarteten $O_2$-Mindest-, Höchst- und Zwischenwert entsprechen. Die Anforderung, dass die durchschnittliche $O_2$-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 Nummer 8.1.10.1 erfüllt.

c) Der FID-Analysator ist wie bei einer Emissionsprüfung einzuschalten 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 mithilfe eines während der Emissionsprüfung verwendeten Justiergases zu justieren.

f) Das Nullgasansprechen ist mithilfe des während der Emissionsprüfung verwendeten Nullgases zu überprüfen. Mit dem nächsten Schritt kann fortgefahren werden, wenn das mittlere Nullgasansprechen von in einem Zeitraum von 30 s erfassten Daten innerhalb von ± 0,5 % des laut Buchstabe e dieser Nummer 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 $O_2$ aufweist. Das mittlere Ansprechverhalten von 30 s an stabilisierten Probendaten ist als $x_{O2minHC}$ zu erfassen.

▼B

h) Das Nullgasansprechen des FID-Analysators ist mithilfe 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 ± 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 Durchschnittskonzentration an $O_2$ aufweist. Das mittlere Ansprechverhalten von 30 s an stabilisierten Probendaten ist als $x_{O2avgHC}$ zu erfassen.

j) Das Nullgasansprechen des FID-Analysators ist mithilfe 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 ± 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 maximale Konzentration an $O_2$ aufweist. Das mittlere Ansprechverhalten von 30 s an stabilisierten Probendaten ist als $x_{O2avgHC}$ zu erfassen.

l) Das Nullgasansprechen des FID-Analysators ist mithilfe des bei der Emissionsprüfung verwendeten Nullgases zu überprüfen. Mit dem nächsten Schritt kann fortgefahren werden, wenn das mittlere Nullgasansprechen der stabilisierten Probedaten aus einem Zeitraum von 30 s innerhalb von ± 0,5 % des laut Buchstabe e dieses Absatzes angewendeten Justierbezugswerts liegt, andernfalls muss das Verfahren ab Buchstabe d dieser Nummer wiederholt werden.

m) Die prozentuale Differenz zwischen dem Wert $x_{O2maxHC}$ und seiner Bezugsgaskonzentration ist zu berechnen. Die prozentuale Differenz zwischen dem Wert $x_{O2avgHC}$ und seiner Bezugsgaskonzentration ist zu berechnen. Die prozentuale Differenz zwischen dem Wert $x_{O2minHC}$ 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 ± 3 %, hat der FID der Überprüfung der $O_2$-Querempfindlichkeit standgehalten, andernfalls muss der Mangel mithilfe 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 FID-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 $RF_{CH4}$ für die nächste $RF_{CH4}$-Überprüfung zurückgesetzt werden. Nach Änderung der Durchsätze wird die Überprüfung der $O_2$-Querempfindlichkeit wiederholt und der Wert $RF_{CH4}$ wird ermittelt.

▼B

iv) Der FID wird repariert oder ausgetauscht und die Überprüfung der $O_2$-Querempfindlichkeit wird wiederholt.

8.1.10.3. Durchlassanteil des Nichtmethan-Cutters (reserviert)

8.1.11. $NO_x$-Messungen

8.1.11.1. Überprüfung der CLD-$CO_2$- und $H_2O$-Querempfindlichkeit

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

$H_2O$ und $CO_2$ können das $NO_x$-Ansprechverhalten eines CLD durch Stoßlöschung, bei der die vom CLD zur Erfassung von $NO_x$ genutzte Chemilumineszenzreaktion gehemmt wird, stören, sodass zu niedrige Werte angezeigt werden. Dieses Verfahren und die Berechnungen nach Nummer 8.1.11.2.3 dienen zur Ermittlung der Querempfindlichkeit und zur Skalierung der Ergebnisse auf die maximale $H_2O$-Molfraktion und die während der Emissionsprüfung erwartete maximale $CO_2$-Konzentration. Wenn der CLD-Analysator Algorithmen zur Kompensierung der Querempfindlichkeit verwendet, die $H_2O$- und/oder $CO_2$-Messgeräte einsetzen, müssen diese zur Ermittlung der Querempfindlichkeit eingeschaltet sein und die Kompensierungsalgorithmen müssen dabei angewendet werden.

8.1.11.1.3. Systemanforderungen

Bei der Messung verdünnter Abgase darf ein CLD-Analysator die kombinierte $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit von ± 2 % nicht überschreiten. Bei der Messung von Rohabgas darf ein CLD-Analysator die kombinierte $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit von ± 2,5 % nicht überschreiten. Bei der kombinierten Querempfindlichkeit handelt es sich um die Summe aus der gemäß Nummer 8.1.11.1.4 ermittelten $CO_2$-Querempfindlichkeit und der gemäß Nummer 8.1.11.1.5 ermittelten $H_2O$-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 $CO_2$-Querempfindlichkeit

Zur Ermittlung der $CO_2$-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.

▼B

d) Ein den Spezifikationen gemäß Nummer 9.5.1 entsprechendes $CO_2$-Justiergas ist in einer Konzentration zu verwenden, die in etwa dem Doppelten der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen $CO_2$-Konzentration entspricht.

e) Ein den Spezifikationen gemäß Nummer 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 Geräteherstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO-Konzentration geringer ist als der vom Gerätehersteller 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 dieser Nummer 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 dieser Nummer 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 $CO_2$-Justiergas wird mit dem Justieranschluss des Gasteilers verbunden.

h) Das NO-Justiergas ist mit dem Verdünnungsanschluss des Gasteilers zu verbinden.

i) Während NO und $CO_2$ durch den Gasteiler geleitet werden, ist das vom Gasteiler erzeugte Gemisch zu stabilisieren. Die $CO_2$-Konzentration des Gasteiler-Gemischs wird ermittelt; dabei sind, um eine präzise Gasteilung zu gewährleisten, die Gaseigenschaften bei Bedarf zu korrigieren. Die ermittelte Konzentration $x_{CO2act}$ wird aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Nummer 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 $CO_2$-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 dieser Nummer genannten $CO_2$-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 $CO_2$-Konzentration entspricht.

j) Die NO-Konzentration wird hinter dem Gasteiler mit dem CLD-Analysator gemessen. Der Stabilisierung des Ansprechens der Analysatoren muss hinreichend Zeit gelassen werden. Teile der Stabilisierungszeit können das Durchspülen der Übertragungsleitung und das Ansprechen des Analysators berücksichtigen. Während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet. Aus diesen Daten wird das arithmetische Mittel der Konzentration $x_{NOmeas}$ berechnet. Der Wert $x_{NOmeas}$ wird aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Nummer 8.1.11.2.3 herangezogen.

▼B

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 6-24 berechnet. Der ermittelte Wert wird für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit anhand der Gleichung 6-23 herangezogen.

l) Die nach den Nummern 8.1.11.1.4 und 8.1.11.1.5 aufgezeichneten Werte dienen zur Berechnung der Querempfindlichkeit gemäß Nummer 8.1.11.2.3.

8.1.11.1.5. Verfahren zur Überprüfung der $H_2O$-Querempfindlichkeit

Zur Ermittlung der $H_2O$-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 Nummer 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 Geräteherstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO-Konzentration geringer ist als der vom Gerätehersteller angeführte Mindestbereich für die Überprüfung.

d) Der CLD-Analysator ist zu nullen und zu justieren. Der CLD-Analysator wird mit dem in Buchstabe c dieser Nummer genannten NO-Justiergas justiert; die Justiergaskonzentration ist als $x_{NO-dry}$ aufzuzeichnen und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit nach Nummer 8.1.11.2.3 zu verwenden.

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 $H_2O$-Pegel erzeugt wird, der in etwa der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen $H_2O$-Molfraktion entspricht. Wird die befeuchtete NO-Justiergasprobe nicht durch einen Probentrockner geleitet, wird die gemessene $H_2O$-Querempfindlichkeit im Zuge der Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Nummer 8.1.11.2.3 auf die maximale während der Emissionsprüfung erwartete $H_2O$-Molfraktion skaliert. Wird die befeuchtete NO-Justiergasprobe für diese Überprüfung durch einen Trockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein $H_2O$-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der gemäß Nummer 9.3.2.3.1 ermittelte Wert. In diesem Fall wird die gemessene $H_2O$-Querempfindlichkeit im Zuge der Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Nummer 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 Nummer 8.1.8.5.8 standhalten;

▼B

g) Die $H_2O$-Molfraktion im befeuchteten NO-Justiergas wird gemessen. Falls ein Probentrockner verwendet wird, wird die $H_2O$-Molfraktion $x_{H2Omeas}$ im befeuchteten NO-Justiergas hinter dem Probentrockner gemessen. Es wird empfohlen, $x_{H2Omeas}$ so nah wie möglich am Eintritt des CLD-Analysators zu messen. $x_{H2Omeas}$ kann aus Messungen des Taupunkts $T_{dew}$ und des absoluten Drucks $p_{total}$ errechnet 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 K über dem lokalen Taupunkt des Probengases liegen.

i) Die Konzentration des befeuchteten NO-Justiergases wird mit dem CLD-Analysator gemessen. Der Stabilisierung des Ansprechens der Analysatoren muss hinreichend Zeit gelassen werden. Teile der Stabilisierungszeit können das Durchspülen der Übertragungsleitung und das Ansprechen des Analysators berücksichtigen. Während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden 30 s lang Daten aufgezeichnet. Aus diesen Daten wird das arithmetische Mittel $x_{NOwet}$ berechnet. Der Wert $x_{NOwet}$ wird aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Nummer 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 dieser Nummer beschrieben durchzuführen.

8.1.11.2.1. Während der Emissionsprüfung erwartete Wassermenge

Die während der Emissionsprüfung erwartete maximale Wassermolfraktion $x_{H2Oexp}$ wird geschätzt. Diese Schätzung ist dort vorzunehmen, wo die Einleitung des befeuchteten NO-Justiergases gemäß Nummer 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 $x_{H2Oexp}$ wird gleich $x_{H2Omeas}$ gesetzt.

8.1.11.2.2. Während der Emissionsprüfung erwartete $CO_2$-Menge

Die während der Emissionsprüfung erwartete maximale $CO_2$-Konzentration $x_{CO2exp}$ wird geschätzt. Diese Schätzung ist dort vorzunehmen, wo gemäß Nummer 8.1.11.1.4 Buchstabe j das vermischte NO- und $CO_2$-Justiergas ins Probenahmesystem eingeleitet wird. Bei der Schätzung der maximalen erwarteten $CO_2$-Konzentration ist der maximale erwartete $CO_2$-Gehalt in Kraftstoffverbrennungsprodukten und Verdünnungsluft zu berücksichtigen.

8.1.11.2.3. Berechnung der kombinierten $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit

Die kombinierte $H_2O$- und $CO_2$-Querempfindlichkeit ist anhand der Gleichung 6-23 zu berechnen:

$$quench = \left[ \left( \frac{x_{NOwet}}{1 - x_{H2Omeas}} \right) \cdot \frac{x_{H2Oexp}}{x_{H2Omeas}} + \left( \frac{x_{NOmeas}}{x_{NOact}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{CO2exp}}{x_{CO2act}} \right] \cdot 100\% \qquad (6\text{-}23)$$

$$x_{NOdry}$$

▼B

Dabei ist:

*quench* = der Wert der CLD-Querempfindlichkeit

$x_{NOdry}$ die gemessene NO-Konzentration oberhalb einer Waschflasche gemäß Nummer 8.1.11.1.5 Buchstabe d

$x_{NOwet}$ die gemessene NO-Konzentration unterhalb einer Waschflasche gemäß Nummer 8.1.11.1.5 Buchstabe i

$x_{H2Oexp}$ die maximale erwartete Wassermolfraktion während der Emissionsprüfung gemäß Nummer 8.1.11.2.1

$x_{H2Omeas}$ die gemessene Wassermolfraktion während der Querempfindlichkeitsüberprüfung gemäß Nummer 8.1.11.1.5 Buchstabe g

$x_{NOmeas}$ die gemessene NO-Konzentration bei der Mischung von NO-Justiergas mit $CO_2$-Justiergas gemäß Nummer 8.1.11.1.4 Buchstabe j

$x_{NOact}$ die tatsächliche NO-Konzentration bei der Mischung von NO-Justiergas mit $CO_2$-Justiergas gemäß Nummer 8.1.11.1.4 Buchstabe k, berechnet mithilfe von Gleichung 6-24

$x_{CO2exp}$ die maximale erwartete $CO_2$-Konzentration während der Emissionsprüfung gemäß Nummer 8.1.11.2.2

$x_{CO2act}$ die tatsächliche $CO_2$-Konzentration bei der Mischung von NO-Justiergas mit $CO_2$-Justiergas gemäß Nummer 8.1.11.1.4 Buchstabe i

$$x_{NOact} = \left(1 - \frac{x_{CO2act}}{x_{CO2span}}\right) \cdot x_{NOspan} \quad (6\text{-}24)$$

Dabei ist:

$x_{NOspan}$ die Konzentration des in den Gasteiler geleiteten NO-Justiergases gemäß Nummer 8.1.11.1.4 Buchstabe e

$x_{CO2span}$ die Konzentration des in den Gasteiler geleiteten $CO_2$-Justiergases gemäß Nummer 8.1.11.1.4 Buchstabe d

8.1.11.3. Überprüfung der HC- und $H_2O$-Querempfindlichkeit des NDUV-Analysators

8.1.11.3.1. Umfang und Häufigkeit

Wird $NO_x$ mithilfe eines NDUV-Analysators gemessen, muss die $H_2O$- und Kohlenwasserstoff-Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.11.3.2. Messgrundsätze

Kohlenwasserstoffe und $H_2O$ können den Betrieb eines NDUV-Analysators stören, indem sie ähnliche Antworten erzeugen wie $NO_x$. Wenn der NDUV-Analysator für die Störungsfeststellung 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.

▼B

8.1.11.3.3. Systemanforderungen

Die kombinierte $H_2O$- und Kohlenwasserstoff-Querempfindlichkeit eines $NO_x$-NDUV-Analysators muss im Bereich von ± 2 % der erwarteten 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 Geräteherstellers einzuschalten, 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 Nummer 9.4 entspricht. Die CLD-Messung ist als Bezugswert zu verwenden. Ebenso ist mit einem FID-Analysator, der den Spezifikationen gemäß Nummer 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) Der Stabilisierung des Ansprechens der Analysatoren muss hinreichend Zeit gelassen werden. Teile der Stabilisierungszeit können das Durchspülen der Übertragungsleitung und das Ansprechen des Analysators berücksichtigen.

e) Während alle Analysatoren die Konzentration der Probe messen, werden 30 s lang 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 dieser Nummer standgehalten, wenn das Ergebnis im Bereich von ± 2 % der beim Standardwert gemäß Gleichung 6-25 erwarteten $NO_x$-Konzentration liegt:

$$|\bar{x}_{\mathrm{NOx,CLD,meas}} - \bar{x}_{\mathrm{NOx,NDUV,meas}}| \cdot \left(\frac{\overline{X}_{\mathrm{HC,exp}}}{\overline{X}_{\mathrm{HC,meas}}}\right) \leq 2\% \cdot (\bar{x}_{\mathrm{NOx,exp}}) \qquad (6\text{-}25)$$

Dabei ist:

$\bar{x}_{\mathrm{NOx,CLD,meas}}$ die mittlere mit dem CLD gemessene $NO_x$-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\mathrm{NOx,NDUV,meas}}$ die durchschnittliche mit dem NDUV gemessene $NO_x$-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\mathrm{HC,meas}}$ die durchschnittliche gemessene HC-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\mathrm{HC,exp}}$ die durchschnittliche beim Standardwert erwartete HC-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\mathrm{NOx,exp}}$ die durchschnittliche beim Standardwert erwartete $NO_x$-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

▼B

8.1.11.4 $NO_2$-Durchlassanteil des Probentrockners

8.1.11.4.1. Umfang und Häufigkeit

Bei Einsatz eines Probentrockners oberhalb eines $NO_x$-Messinstrumentes, dem kein $NO_2$-NO-Konverter vorgeschaltet ist, ist diese Überprüfung für den $NO_2$-Durchlassanteil des Probentrockners vorzunehmen. Diese Überprüfung ist nach der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten durchzuführen.

8.1.11.4.2. Messgrundsätze

Ein Probentrockner entfernt Wasser, das sonst eine $NO_x$-Messung verfälschen könnte. In einem mangelhaft konzipierten Kühlbad verbleibende Wasserflüssigkeit kann der Probe jedoch $NO_2$ entziehen. Somit kann der Probe vor der $NO_x$-Messung $NO_2$ entzogen werden, wenn ein Probentrockner ohne vorgeschalteten $NO_2$-NO-Konverter verwendet wird.

8.1.11.4.3. Systemanforderungen

Der Probentrockner muss bei der höchsten 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 Probentrockners:

a) Inbetriebnahme des Geräts: Die Anweisungen des Herstellers des Analysators und des Probentrockners zu Inbetriebnahme und Betrieb des Geräts sind zu befolgen. Analysator und Probentrockner sind zur Leistungsoptimierung nach Bedarf zu einzustellen.

b) Einrichtung des Systems und Datenerfassung.

i) Die Gasanalysatoren zur Messung der Gesamt-$NO_x$ sind wie vor 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. Entsprechend den Empfehlungen des Geräteherstellers 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 Gerätehersteller 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 lang erfassten Gesamt-$NO_x$-Daten wird ein Mittelwert berechnet und dieser Wert als $x_{NOxref}$ aufgezeichnet.

v) Der Durchfluss des $NO_2$-Kalibriergases wird gestoppt.

vi) Als nächstes wird das Probenahmesystem gesättigt, indem die Sonden oder die Überlaufgarnitur des Probenahmesystems mit dem Ausstoß eines auf einen Taupunkt von 323 K (50 °C) eingestellten Taupunktgenerators geflutet wird. Der

▼B

Ausstoß des Taupunktgenerators wird mindestens zehn Minuten lang durch das Probenahmesystem und den Probentrockner geleitet, bis davon auszugehen ist, dass der Probentrockner eine konstante Wassermenge abscheidet.

vii) Anschließend wird sofort wieder zur Flutung mit dem zur Bestimmung von $x_{NOxref}$ 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 lang erfassten Gesamt-$NO_x$-Daten wird ein Mittelwert berechnet und dieser Wert als $x_{NOxmeas}$ aufgezeichnet.

viii) $x_{NOxmeas}$ wird auf der Grundlage der Wasserdampfrückstände, die den Probentrockner mit der Austrittstemperatur und dem Austrittsdruck des Probentrockners durchströmt haben, zu $x_{NOxdry}$ korrigiert.

c) Leistungsbeurteilung. Entspricht der Wert $x_{NOxdry}$ weniger als 95 % von $x_{NOxref}$ ist der Probentrockner instandzusetzen oder zu ersetzen.

8.1.11.5. Überprüfung des $NO_2$-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 $NO_2$-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 $NO_2$-NO-Konverters nicht abgenommen hat.

8.1.11.5.2. Messgrundsätze

Ein $NO_2$-NO-Konverter erlaubt die Bestimmung des Gesamt-$NO_x$ mit einem Analysator, der nur zur Messung von NO in der Lage ist, indem das $NO_2$ im Abgas in NO umgewandelt wird.

8.1.11.5.3. Systemanforderungen

Der $NO_2$-NO-Konverter muss bei der höchsten erwarteten $NO_2$-Konzentration die Messung von mindestens 95 % des gesamten $NO_2$ ermöglichen.

8.1.11.5.4. Verfahren

Die Leistung eines $NO_2$-NO-Konverters ist mit dem nachstehenden Verfahren zu überprüfen:

a) Die Anweisungen der Hersteller des Analysators und des $NO_2$-NO-Konverters zur Inbetriebnahme und zum Betrieb der Geräte sind zu beachten. Analysator und Konverter sind zur Leistungsoptimierung nach Bedarf 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 $NO_2$-NO-Konverters verbunden.

c) Zur Durchführung der Überprüfung sind die folgenden Schritte zu unternehmen:

▼B

i) Die Luftzufuhr des Ozongenerators wird unterbrochen, der Ozongenerator wird ausgeschaltet und der $NO_2$-NO-Konverter wird in den Umgehungs-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 $NO_2$-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 Geräteherstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO-Konzentration geringer ist als der vom Gerätehersteller angeführte Mindestbereich für die Überprüfung.

iii) Die $O_2$-Versorgung des Ozongenerators wird eingeschaltet und der $O_2$-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 $x_{NO+O2mix}$ 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; dieser Wert ist als $x_{NOmeas}$ aufzuzeichnen.

v) Der $NO_x$-Analysator wird auf den NOx-Modus umgeschaltet und die Gesamt-$NO_x$ gemessen. Die $NO_x$-Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt; dieser Wert ist als $x_{NOxmeas}$ aufzuzeichnen.

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; dieser Wert ist als $x_{NOx+O2mix}$ aufzuzeichnen.

vii) Die $O_2$-Zufuhr 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; dieser Wert ist als $x_{NOxref}$ aufzuzeichnen. Dieser Wert darf nicht mehr als 5 % über dem Wert $x_{NOref}$ liegen.

d) Leistungsbeurteilung. Die Effizienz des $NO_x$-Konverters wird durch Einfügen der ermittelten Konzentrationen in die Gleichung 6-26 berechnet:

$$Efficiency\ [\%] = \left(1 + \frac{x_{\ NOxmeas} - x_{\ NOx+O2mix}}{x_{\ NO+O2mix} - x_{\ NOmeas}}\right) \times 100 \qquad (6\text{-}26)$$

e) Entspricht das Ergebnis weniger als 95 %, muss der $NO_2$-NO-Konverter repariert oder ausgetauscht werden.

▼B

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 Abschnitt 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, wobei die verwendeten Gewichte den Spezifikationen gemäß Nummer 9.5.2 entsprechen müssen. 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 Nummer 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 ± 10 μg oder ± 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:

▼B

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 Nummer 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 Nummer 8.1.13.2. 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 Abschnitt 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 dieser Nummer herangezogen, sondern ausgesondert und ersetzt.

j) Verändert sich eine der Vergleichsmassen stärker als laut dieser Nummer 8.1.13.1.4 zulässig, müssen alle zwischen den beiden Bestimmungen der Vergleichsmasse ermittelten PM-Ergebnisse für ungültig erklärt werden. Werden PM-Vergleichsmedien nach Buchstabe i dieser Nummer ausgesondert, muss mindestens eine den Kriterien von Nummer 8.1.13.1.4 entsprechende Vergleichsmassendifferenz vorliegen. Andernfalls müssen alle zwischen den beiden Massenbestimmungen der Vergleichsmedien (z. B. Filter) ermittelten PM-Ergebnisse für ungültig erklärt werden.

▼B

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/$m^3$ 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/m3angenommen.

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 295 ± 1 K (22 ± 1 °C) und eines Taupunkts von 282,5 ± 1 K (9,5 ± 1 °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 Gleichung 6-27:

$$m_{\text{cor}} = m_{\text{uncor}} \cdot \left( \frac{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{weight}}}}{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{media}}}} \right) \qquad (6\text{-}27)$$

Dabei ist:

$m_{\text{cor}}$ die auftriebsbereinigte Masse des PM-Probenahmefilters

$m_{\text{uncor}}$ die Masse des PM-Probenahmefilters ohne Auftriebskorrektur

$\rho_{\text{air}}$ die Luftdichte in der Waagenumgebung

$\rho_{\text{weight}}$ die Dichte des zur Justierung der Waage verwendeten Kalibriergewichts

▼B

$\rho_{media}$ die Dichte des PM-Probenahmefilters

wobei gilt:

$$\rho_{air} = \frac{p_{abs} \cdot M_{mix}}{R \cdot T_{amb}} \quad (6\text{-}28)$$

Dabei ist:

$p_{abs}$ der absolute Druck in der Waagenumgebung

$M_{mix}$ die Molmasse der Luft in der Waagenumgebung

$R$ die molare Gaskonstante

$T_{amb}$ die 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 Verhältnisgleichheit 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 VII Anlage 3 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 ± 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 ± 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 ± 4 % der mittleren absoluten Temperatur oder des Sollwerts lag.

b) Verdrängerpumpe. Die aufgezeichneten Bedingungen am Pumpeneintritt oder ihr 1-Hz-Mittel sind zu verwenden. Es ist zu zeigen, dass die Durchsatzdichte am Pumpeneintritt während jedes Prüfintervalls konstant bei ± 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 ± 2 % der mittleren absoluten Temperatur oder des Sollwerts lag.

▼B

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 mithilfe einer technischen Analyse nachzuweisen, dass das Steuersystem 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 von Absatz 8.1.8.6.3.2 zu bestimmen. Die tatsächliche Steuerung des Teilstrom-Verdünnungssystems beruht auf den aktuell gemessenen Bedingungen. Liegt die kombinierte Wandlungszeit des Abgasdurchsatzmesssystems und des Teilstromsystems bei ≤ 0,3 s, 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 Anstiegzeit ≤ 1 s und die kombinierte Ansprechverzögerung ≤ 10 s sein. Die Ansprechzeit des Gesamtsystems ist so auszulegen, dass eine dem Abgasmassendurchsatz verhältnisgleiche repräsentative Partikelprobe $q_{mp,i}$ (Abgasprobendurchsatz in das Teilstrom-Verdünnungssystem) entnommen wird. Zur Ermittlung der Verhältnisgleichheit ist eine Regressionsanalyse von $q_{mp,i}$ bezogen auf $q_{mew,i}$ (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 $q_{mp,i}$ und $q_{mew,i}$ muss mindestens 0,95 betragen.

b) Der Standardfehler des Schätzwertes von $q_{mp,i}$ gegenüber $q_{mew,i}$ darf nicht größer als 5 % des Maximalwertes von $q_{mp}$ sein.

c) Der $q_{mp}$-Wert der Regressionsgeraden darf den Maximalwert von $q_{mp}$ um höchstens 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 $q_{mew,pre}$, auf dessen Basis $q_{mp}$ gesteuert wird, um die „vorausschauende“ Zeit $t_{50,P} + t_{50,F}$ verschoben wird.

▼B

Zur Ermittlung der Korrelation zwischen $q_{mp,i}$ und $q_{mew,i}$ sind die während der eigentlichen Prüfung gesammelten Daten zu verwenden, wobei $q_{mew,i}$ um $t_{50,F}$ bezogen auf $q_{mp,i}$ 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 Nummer 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 ± 1 %, können die Daten entweder ohne Korrektur oder nach erfolgter Korrektur akzeptiert werden. Übersteigt die Drift ± 1 %, sind für jeden Schadstoff, für den bremsspezifische Grenzwerte gelten und für $CO_2$ zwei Sätze von bremsspezifischen Emissionsergebnissen zu berechnen, andernfalls ist die Prüfung ungültig. Ein Satz wird anhand von Daten vor der Driftkorrektur berechnet, der andere nach der Driftkorrektur sämtlicher Daten gemäß Anhang VII Nummer 2.6 und Anhang VII Anlage 1. Der Vergleich muss in % der nicht korrigierten Werte ausgedrückt werden. Die Differenz zwischen nicht korrigierten und den korrigierten bremsspezifischen Emissionswerten muss innerhalb von ± 4 % entweder der nicht korrigierten bremsspezifischen Emissionswerte oder ± 4 % des Emissionsgrenzwertes liegen, wobei der größere Wert gilt. 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 Nummer 8.1.12 standhalten. Der Vergleichsfilter ist unmittelbar vor den Prüffiltern zu wiegen, um einen geeigneten Bezugspunkt festzulegen (für weitere Informationen zum Verfahren siehe Nummer 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.

▼B

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 Nummer 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. Gebrauchte Filter können 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. Wenn jedoch eine Masse von 400 µg oder mehr erwartet wird, dann muss das Probenahmemedium für mindestens 60 Minuten stabilisiert werden.

8.2.3.6. Wägung

Das Probenahmemedium wird automatisch oder manuell gewogen, wobei folgendermaßen vorzugehen ist:

a) Bei der automatischen Wägung sind die Anweisungen des Herstellers des Automatisierungssystems zur Vorbereitung der Proben für die Wägung zu beachten; dies kann beinhalten, dass die Proben in einen besonderen Behälter gelegt werden.

b) Bei der manuellen Wägung ist nach bestem fachlichen Ermessen vorzugehen.

c) Optional ist eine Substitutionswägung zulässig (siehe Nummer 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 Nummer 8.1.13.2 zu unterziehen.

8.2.3.8. Häufigkeit

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

▼B

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/cm$^3$ beträgt. Nachstehend eine beispielhafte Auflistung der Verfahrensschritte bei einer Substitutionswägung:

a) Es ist eine elektrisch geerdete Pinzette oder ein Erdungsband gemäß Nummer 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 Nummer 9.3.4.6 zu neutralisieren.

c) Es ist ein Substitutionsgewicht zu verwenden, das den Spezifikationen für Kalibriergewichte gemäß Nummer 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. Bei gebrauchten Filtern 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 Waagenumgebung 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 Nummern 8.2.3.7 bis 8.2.3.9 zu folgen.

8.2.4. Konditionieren und Wägen von Partikelmaterieproben nach der Prüfung

Benutzte PM-Probefilter 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-Probefilter zurückzubringen. Anschließend sind die PM-Filter entsprechend zu konditionieren und zu wägen.

▼B

8.2.4.1. Regelmäßige Überprüfung

Es ist sicherzustellen, dass die Wägeumgebung und die PM-Stabilisierungsumgebung den regelmäßigen Überprüfungen gemäß Nummer 8.1.13.1 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 Nummer 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 mithilfe 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 Nummer 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 Nummer 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 µg auf einem wirksamen Filterbereich mit 38 mm Durchmesser 0,353 µg/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 µg/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 Stabilisierungsumgebung befinden.

8.2.4.6. Ermittlung der Filtermasse nach der Prüfung

Zur Ermittlung der Filtermasse nach der Prüfung sind die Verfahren gemäß Nummer 8.2.3 (Nummern 8.2.3.6 bis 8.2.3.9) zu wiederholen.

▼B

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 Anhang VII heranzuziehen ist.

9. **Messausrüstung**

9.1. Spezifikation des Motorleistungsprüfstands

9.1.1. Arbeit an 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) ein Prüfstand oder mehrere.

9.1.2. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC)

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 Abgasnachbehandlungssystemen erforderlich sind, ist zu berücksichtigen; die Nebenaggregate sind nach Nummer 6.3 anzubringen.

9.1.4. Befestigung des Motors und Antriebswellensystem (Klasse NRSh)

Soweit dies für die ordnungsgemäße Prüfung eines Motors der Klasse NRSh erforderlich ist, sind für die Befestigung des Motors am Prüfstand und für die Kraftübertragung zur Verbindung mit dem rotierenden System des Prüfstandes die vom Hersteller vorgeschriebenen Systeme zu verwenden.

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 288 K (15 °C) betragen. Die Spezifikationen für die Temperatur des Verdünnungsgases zur PM-Probenahme sind für CVS in Nummer 9.2.2 bzw. für PFD mit

▼B

unterschiedlichem Verdünnungsverhältnis in Nummer 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 den Niederschlag wasserhaltiger Bestandteile aus der gasförmigen in die flüssige Phase („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 Anhang VII für Berechnungen zur Kompensation von Hintergrundkonzentrationen.

b) Die folgenden Änderungen an den Anforderungen der Abschnitte 7.2, 9.3 und 9.4 sind zulässig zur Messung der gasförmigen Schadstoffe oder luftverunreinigenden Partikel:

   i) Eine verhältnisgleiche Beprobung ist nicht erforderlich.

   ii) Unbeheizte Probenahmesysteme können verwendet werden.

   iii) Die Probenahme darf unabhängig von der Stichprobenahme bei verdünnten Emissionen kontinuierlich erfolgen.

   iv) Die Stichprobenahme darf unabhängig von der kontinuierlichen Probenahme bei verdünnten Emissionen als Stichprobenahme erfolgen.

c) Hintergrund-PM können folgendermaßen berücksichtigt werden:

   i) Zum Abscheiden von Hintergrund-PM ist das Verdünnungsgas mit Hochleistungs-Schwebstofffiltern (HEPA-Filtern) mit einem anfänglichen Mindestabscheidegrad von 99,97 % zu filtern (für Verfahren im Zusammenhang mit HEPA-Filterwirkungsgraden siehe Artikel 2 Absatz 19).

   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-Filterung sind ohne Druckbeschränkung 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 Verhältnisgleichheit der Probenahmen zu erlauben. Das System ist folgendermaßen auszulegen (siehe Abbildung 6.6):

a) Die Innenflächen des verwendeten Tunnels müssen aus rostfreiem Stahl bestehen. Der gesamte Verdünnungstunnel muss elektrisch geerdet sein. Alternativ können bei Motorklassen, für die weder bei der Partikelmasse noch bei der Partikelzahl Grenzwerte gelten, nichtleitende Werkstoffe verwendet werden.

▼B

b) Der Abgasgegendruck 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 ± 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 Nummer 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* ist in Anhang VII 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. 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.

   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 verhältnisgleiche Durchsatz (ein oder mehrmals) einer Sekundärverdünnung unterzogen, um das erforderliche Gesamtverdünnungsverhältnis zu erreichen, wie in Abbildung 9.2 dargestellt und in Nummer 9.2.3.2 ausgeführt.

▼B

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.

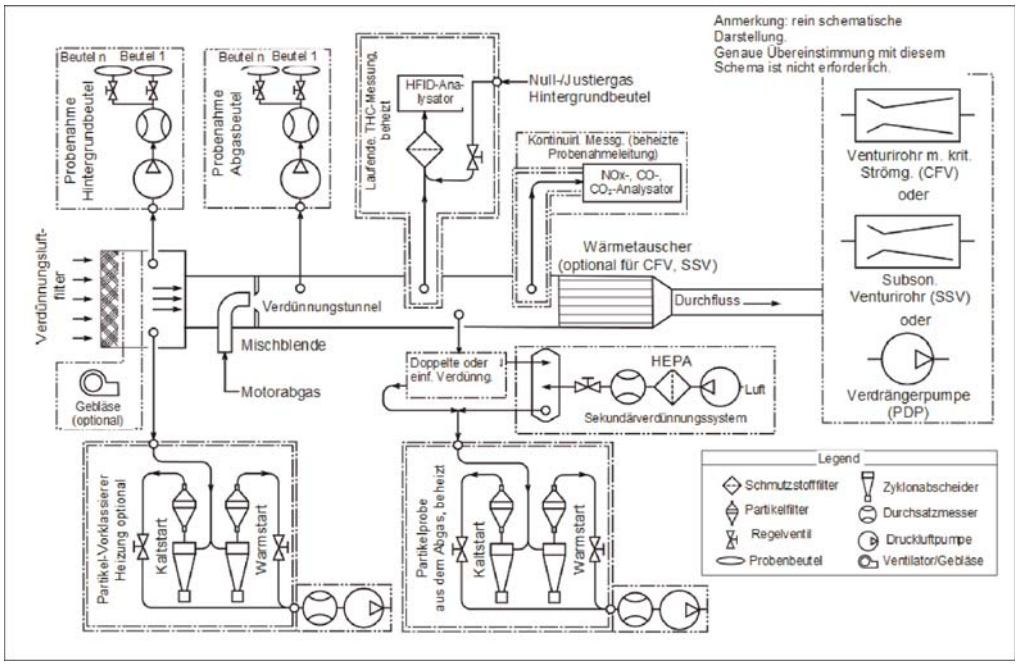
i) Die Gesamtverweildauer im System muss, gemessen vom Punkt der Einleitung des Verdünnungsgases in den bzw. die Filterhalter, zwischen 0,5 und 5 s betragen.

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 6.6*

**Beispiele für Probenahmekonfigurationen mit Vollstromverdünnung**




9.2.3. Teilstrom-Verdünnungssystem (PFD)

9.2.3.1. Beschreibung des Teilstromsystems

Abbildung 6.7 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 genügen, etwa den Anforderungen gemäß Nummer 8.1.8.6 (regelmäßige Kalibrierung) und 8.2.1.2 (Validierung) bei PFD mit veränderlicher Verdünnung und den Anforderungen gemäß Nummer 8.1.4.5 sowie Tabelle 8.2 (Linearitätsprüfungen) und Nummer 8.1.8.5.7 (Überprüfung) bei PFD mit konstanter Verdünnung.

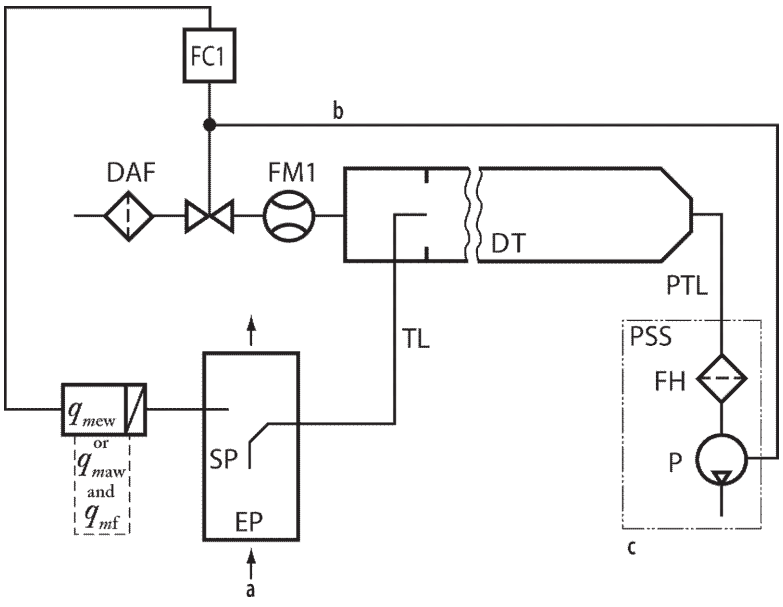
▼B

Wie in Abbildung 6.7 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 verhältnisgleichen 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.

Die Verdünnungsluft (Umgebungsluft, synthetische Luft oder Stickstoff) ist mit einem Hochleistungsschwebstoff-Filter (HEPA-Filter) zu filtern

*Abbildung 6.7*

**Schematische Darstellung eines Teilstrom-Verdünnungssystems (Gesamtprobenahme)**




a = Abgasstrom oder primärverdünnter Strom

b = optional

c = PM-Probenahme

Komponenten der Abbildung 6.7:

DAF: Verdünnungsluftfilter

DT: Verdünnungstunnel oder Sekundärverdünnungssystem

EP: Auspuffrohr oder Primärverdünnungssystem

▼B

FC1: Durchflussregler

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 verhältnisgleichen Rohabgasprobe, dabei ist

$q_{mew}$ der Massendurchsatz des Abgases, feucht

$q_{maw}$ der Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht

$q_{mf}$ der Massendurchsatz des Kraftstoffs

9.2.3.2. Verdünnung

Die Temperatur der Verdünnungsgase (Umgebungsluft, synthetische Luft oder Stickstoff gemäß Nummer 9.2.1) in unmittelbarer Nähe des Eintritts des Verdünnungstunnels muss zwischen 293 K 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 verhältnisgleich Rohabgasprobe entnimmt und folglich Ausschläge des Abgasdurchsatzes mitvollzieht und diese Probe mit Verdünnungsluft vermischt, sodass am Prüffilter eine Temperatur gemäß Nummer 9.3.3.4.3 erreicht wird. Dafür ist es wesentlich, dass das Verdünnungsverhältnis in einer Weise bestimmt wird, welche die Genauigkeitsanforderungen gemäß Nummer 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 bis in den bzw. die Filterhalter, zwischen 0,5 s 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.

▼B

9.2.3.3. Geltungsdauer

Ein PFD dient zur Entnahme einer verhältnisgleichen Rohabgasprobe für PM-Stichproben, für die kontinuierliche PM-Probenahme oder die Probenahme von gasförmigen Emissionen in jedem dynamischen Lastzyklus (NRTC und LSI-NRTC), Einzelphasen-NRCS oder RMC.

Das System kann außerdem für ein zuvor verdünntes Abgas eingesetzt werden, von dem anhand eines konstanten Verdünnungsverhältnisses bereits ein verhältnisgleicher 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 verhältnisgleichen Rohabgasprobe ist in Nummer 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, wobei ihre Innen- und Außenflächen in Kontakt mit dem Abgas kommen. 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 Auslasses eines Auspuffs 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.

9.3.1.1.1. Mischkammer (Klasse NRSh)

Falls vom Hersteller gestattet, kann bei der Prüfung von Motoren der Klasse NRSh eine Mischkammer verwendet werden. Die Mischkammer ist ein fakultatives Element eines Rohgas-Probenahmesystems, sie ist im Auspuffsystem zwischen dem Schalldämpfer und der Probenahmesonde angeordnet. Form und Abmessungen der Mischkammer sowie die Leitungen davor und dahinter müssen gewährleisten, dass an die Probe an der Stelle, an der sich die Probenahmesonde befindet, gut durchmischt und homogen ist und dass Beeinflussungen der Emissionsergebnisse durch starke Pulsationen oder Resonanzen der Kammer vermieden werden.

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.

▼B

9.3.1.3. Probenahmemethoden

Für die kontinuierliche Entnahme von Proben und die von Stichproben gemäß Nummer 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 verhältnisgleiche 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 Probentemperatur 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. 191 °C zu halten.

9.3.2.1.1. Mischkammer (Klasse NRSh)

Falls gemäß Nummer 9.3.1.1.1 eine Mischkammer verwendet wird, muss deren Volumen mindestens das Zehnfache des Hubraums des geprüften Motors betragen. Die Mischkammer ist so eng wie möglich mit dem Schalldämpfer zu verbinden; ihre Innenoberfläche muss eine Temperatur von mindestens 452 K (179 °C) aufweisen. Der Hersteller kann Vorgaben zur Konzeption der Mischkammer machen.

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 Nummer 8.1.11.5 entspricht, oder einem Kühlapparat, der den Spezifikationen gemäß Nummer 8.1.11.4 entspricht, ist eine zur Verhinderung einer Wasserkondensierung geeignete Probentemperatur 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

▼B

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

Zur Verringerung der Beeinflussung der Messung gasförmiger Emissionen durch Wasser kann Feuchtigkeit mithilfe von Probentrocknern aus der Probe abgeschieden werden. Probentrockner müssen den Anforderungen nach Nummer 9.3.2.3.1.1 und 9.3.2.3.1.2 entsprechen. Der Feuchtigkeitsgehalt von 0,8 Volumenprozent wird für die Gleichung 7-13 benötigt.

Bei der höchsten erwarteten Wasserdampfkonzentration $H_m$ muss die Feuchtigkeit durch das Entfeuchtungsverfahren bei ≤ 5 g Wasser/kg Trockenluft (oder ca. 0,8 Volumenprozent $H_2O$) gehalten werden können, was 100 % relativer Luftfeuchtigkeit bei 277,1 K (3,9 °C) und 101,3 kPa entspricht. Diese Angabe entspricht ca. 25 % relativer Luftfeuchtigkeit bei 298 K (25 °C) und 101,3 kPa. Der Nachweis hierfür kann erbracht werden durch

a) Messung der Temperatur am Austritt des Probentrockners

b) Messung der Feuchtigkeit an einem Punkt unmittelbar vor dem CLD unter

Durchführung des Prüfungsverfahrens nach Nummer 8.1.8.5.8.

9.3.2.3.1.2. Arten von einsetzbaren Probentrocknern und Verfahren zur Schätzung des Feuchtigkeitsgehalts nach dem Trockner

Beide unter dieser Nummer beschriebenen Arten von Probentrocknern 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 Anhang VII 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 Nummer 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 Anhang VII anhand kontinuierlich aufgezeichneter Messwerte für $T_{dew}$ und $p_{total}$ oder ihrer während einer Prüfung beobachteten Spitzenwerte oder ihrer

▼B

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 Anhang VII herangezogen werden. Wenn angenommen werden kann, dass $T_{chiller}$ gleich $T_{dew}$ ist, kann $T_{chiller}$ im Einklang mit Anhang VII 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 dieser Nummer 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 eine $NO_x$-Probenpumpe vor einem $NO_2$-NO-Konverter, der den Spezifikationen gemäß Nummer 8.1.11.5 entspricht, oder einem Kühlapparat, der den Spezifikationen gemäß Nummer 8.1.11.4 entspricht, verwendet, ist sie zu heizen, um eine Wasserkondensierung zu verhindern.

b) Wird vor einem THC-Analysator oder Speichermittel eine THC-Probenpumpe verwendet, müssen ihre Innenflächen auf einen Toleranzwert von 464 ± 11 K (191 ±11) °C beheizt werden.

9.3.2.3.3. Ammoniakwascher

Ammoniakwascher können in jedem einzelnen oder für die Gesamtheit der Systeme für gasförmige Proben eingesetzt werden, um eine Beeinflussung durch $NH_3$, eine Kontaminierung des $NO_2$-NO-Konverters und Ablagerungen im Probensystem oder in den Analysatoren zu verhindern. Bei der Installation des Ammoniakwaschers ist nach den Empfehlungen des Herstellers zu verfahren.

9.3.2.4. Speichermittel für Proben

Bei der Beutelprobenahme 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 6.6 entsprechen.

▼B

*Tabelle 6.6*

**Materialien für Behälter zur Entnahme gasförmiger Stichproben**

| | |
|---|---|
| CO, $CO_2$, $O_2$, $CH_4$, $C_2H_6$, $C_3H_8$, NO, $NO_2$ (1) | Polyvinylfluorid (PVF) (2), zum Beispiel Tedlar™, Polyvinylidenfluorid (2), zum Beispiel Kynar™, Polytetrafluorethylen (3), zum Beispiel Teflon™, oder rostfreier Stahl (3) |
| HC | Polytetrafluorethylen (4) oder rostfreier Stahl (4) |

(1) Sofern eine Wasserkondensierung im Speicherbehälter vermieden wird.
(2) Bis zu 313 K (40 °C).
(3) Bis zu 475 K (202 °C).
(4) Bei 464 ± 11 K (191 ± 11 °C).

9.3.3. PM-Probenahme

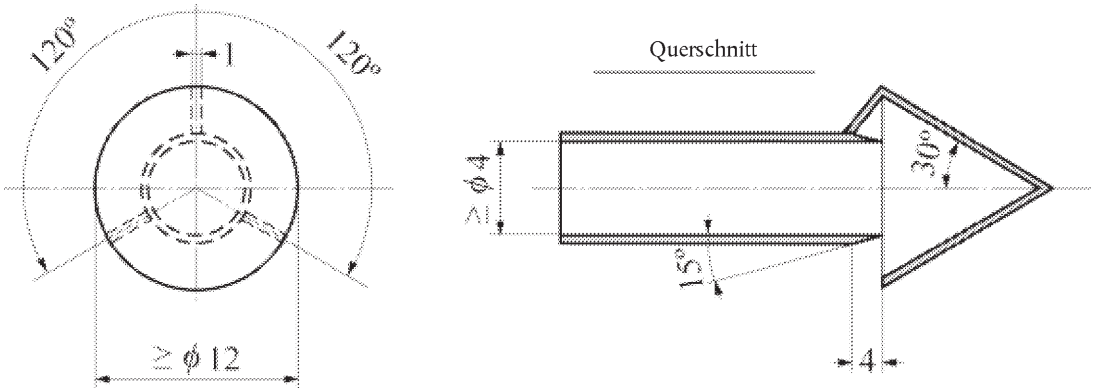
9.3.3.1. Probenahmesonden

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 6.8 entspricht, abgeschirmt werden. In diesem Fall darf der in Nummer 9.3.3.3 beschriebene Vorklassierer nicht verwendet werden.

*Abbildung 6.8*

**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 6.8), ist der Einsatz eines Vorklassierers nicht zulässig.

▼B

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 Nummern 9.3.3.4.1 bis 9.3.3.4.4 erfüllt.

9.3.3.4.1. Spezifikation der Filter

Bei allen Filtertypen muss der Abscheidegrad mindestens 99,7 % betragen. Die vom Hersteller des Probenahmefilters in die Produktspezifikationen aufgenommenen Messergebnisse sind zum Nachweis der Erfüllung dieser Anforderung zulässig. Als Filterwerkstoff sind geeignet:

a) mit Fluorkarbon (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 (Auffangfläche mindestens 37 mm) im Durchmesser betragen. Filter mit größerem Durchmesser können mit vorheriger Zustimmung der Genehmigungsbehörde verwendet werden. Proportionalität zwischen Filter und Auffangfläche wird empfohlen.

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 Nummer 9.3.3.2 hinsichtlich der Übertragungsleitungen). Die Probentemperatur muss innerhalb einer Toleranz von 320 ± 5 K (47 ± 5 °C) geregelt werden, wobei dieser Wert an einer beliebigen Stelle innerhalb von 200 mm vor oder 200 mm nach dem PM-Speichermedium gemessen werden kann. Die PM-Probe soll vornehmlich unter den Verdünnungsvoraussetzungen gemäß Nummer 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 Rohr des Auspuffsystems oder im CVS-Tunnel wird für den Gegendruck verwendet, wenn der Druckabfall zwischen dem PM-Probenahmesystem und dem Filter weniger als 2 kPa beträgt.

▼B

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 Wägeumgebung 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: die PM-Stabilisierungsumgebung, in der die Filter vor der Wägung aufbewahrt werden, und die Wägeumgebung, in der sich die Waage befindet. Die beiden Umgebungen können sich in einem gemeinsamen Raum befinden.

Sowohl die Stabilisierungs- als auch die Wägeumgebung 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 mithilfe von Vergleichsfiltern gemäß Nummer 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 295 K ± 1 K (22 °C ± 1 °C) zu halten. Die Luftfeuchtigkeit ist auf einem Taupunkt von 282,5 ± 1 K (9,5 °C ± 1 °C) und auf einer relativen Feuchtigkeit von 45 % ± 8 % zu halten. Wenn Stabilisierung und Wägung in getrennten Räumen erfolgen, muss die Temperatur der Stabilisierungsumgebung in einem Toleranzbereich von 295 ± 3 K (22 °C ± 3 °C) gehalten werden.

9.3.4.4. Überprüfung der Umgebungsbedingungen

Bei der Verwendung von Messgeräten, die den Spezifikationen gemäß Nummer 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 Wägeumgebung mindestens in einem Zeitraum von 60 min vor der Wägung der Filter die in Nummer 9.3.4.3 genannten Toleranzen erfüllt haben.

b) Der Luftdruck in der Wägeumgebung ist laufend aufzuzeichnen. Alternativ kann auch ein Barometer zur Messung des Luftdrucks außerhalb der Wägeumgebung eingesetzt werden, sofern sichergestellt werden kann, dass sich der Luftdruck an der Waage immer im Bereich von ± 100 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 Nummer 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

b) Abschirmung vor Luftströmungen mit einem statische Elektrizität ableitenden geerdeten Schutz.

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 elektrostatische Aufladung der PM-Proben zu neutralisieren.

9.4. Messgeräte

9.4.1. Einleitung

9.4.1.1. Anwendungsbereich

Diese Nummer 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 dieser Verordnung genannten Messgeräte sind so einzusetzen, wie in dieser Verordnung beschrieben (siehe Tabelle 6.5 für die Messgrößen dieser Geräte). Wird ein in dieser Verordnung angeführtes Gerät anders eingesetzt als angegeben, oder wird an seiner Stelle ein anderes Gerät verwendet, finden die in Nummer 5.1.1 festgelegten Bestimmungen zur Gleichwertigkeit Anwendung. Ist für eine bestimmte Messung mehr als ein Gerät angeführt, wird auf Antrag eines von diesen von der Typgenehmigungs- oder Zertifizierungsbehörde 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 Typgenehmigungs- oder Zertifizierungsbehörde können zur Berechnung der Prüfergebnisse einer Einzelprüfung für alle in dieser Nummer genannten Messgeräte die Daten mehrerer Geräte verwendet werden. Die Ergebnisse aller Messungen sind aufzuzeichnen und die Rohdaten zu speichern. 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 von Bedienervorgaben, Prüfstand, Probenahmesystem und Messgeräten in der Lage sein. Die eingesetzten Datenerfassungs- und Steuerungssysteme müssen zur Aufzeichnung der in Tabelle 6.7 angegebenen Mindestfrequenzen geeignet sein (diese Tabelle ist nicht auf Prüfungen mit dem Einzelphasen-NRSC anwendbar).

▼B

*Tabelle 6.7*

**Mindestfrequenzen für die Datenaufzeichnung und Steuerung**

| Anwendbarer Abschnitt des Prüfprotokolls | Messwert | Mindestbefehls- und Steuerungsfrequenz | Mindestaufzeichnungs-frequenz |
|---|---|---|---|
| 7.6 | Drehzahl und Drehmoment während einer schrittweisen Abbildung 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 und Messwerte für Drehzahl- und Drehmoment bei dynamischem Last-zyklus (NRTC und LSI-NRTC) | 5 Hz | 1-Hz-Mittel |
| 7.8.2 | Bezugswerte und Messwerte für Drehzahl- und Drehmoment bei Einzelphasen-NRTC und RMC | 1 Hz | 1 Hz |
| 7.3 | Kontinuierliche Konzentrationen von Analysa-toren für Rohabgas | Entfällt | 1 Hz |
| 7.3 | Kontinuierliche Konzentrationen von Analysa-toren für verdünntes Abgas | Entfällt | 1 Hz |
| 7.3 | Stichprobenkonzentrationen von Analysatoren für Rohabgas oder verdünntes Abgas | Entfällt | 1 Mittelwert pro Prüfintervall |
| 7.6<br>8.2.1 | Durchsatz des verdünnten Abgases in einem CVS mit einem Wärmetauscher vor dem Durchsatzmessgerät | Entfällt | 1 Hz |
| 7.6<br>8.2.1 | Durchsatz des verdünnten Abgases in einem CVS ohne Wärmetauscher vor dem Durch-satzmessgerät | 5 Hz | 1-Hz-Mittel |
| 7.6<br>8.2.1 | Ansaugluft- oder Abgasdurchsatz (für dyna-mische Rohabgas-Messungen) | Entfällt | 1-Hz-Mittel |
| 7.6<br>8.2.1 | Verdünnungsluft, wenn diese aktiv gesteuert wird | 5 Hz | 1-Hz-Mittel |
| 7.6<br>8.2.1 | Probendurchsatz in einem CVS mit Wär-metauscher | 1 Hz | 1 Hz |
| 7.6<br>8.2.1 | Probendurchsatz in einem CVS ohne Wär-metauscher | 5 Hz | 1-Hz-Mittel |

9.4.3. Leistungsspezifikationen für Messgeräte

9.4.3.1. Übersicht

Das Prüfsystem als Ganzes muss allen anwendbaren, in Nummer 8.1 genannten Kalibrierungen, Überprüfungen und Validierungskriterien für die Prüfung einschließlich den Anforderungen hinsichtlich der Linearitätsprüfung gemäß den Nummern 8.1.4 und 8.2 entsprechen. Die Geräte müssen für alle bei der Prüfung verwendeten Bereiche den Spezifikationen laut Tabelle 6.7 entsprechen. Zudem sind Nachweise des Geräteherstellers, aus denen hervorgeht, dass die Spezifikationen gemäß Tabelle 6.7 eingehalten werden, aufzubewahren.

▼B

9.4.3.2. Anforderungen an Komponenten

Tabelle 6.8 enthält die Spezifikationen für Drehmoment-, Drehzahl- und Druckaufnehmer, Sensoren für Temperatur und Taupunkt sowie andere Geräte. Das Gesamtsystem zur Messung der jeweiligen physikalischen und/oder chemischen Größen muss der Linearitätsprüfung gemäß Nummer 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 6.8*

**Empfohlene Leistungsspezifikationen für Messgeräte**

| Messgeräte | Symbol für die Messgröße | vollständiges System Anstiegzeit | Aufzeichnung Aktualisierungsfrequenz | Genauigkeit [a] | Wiederholbarkeit [a] |
|---|---|---|---|---|---|
| Aufnehmer für die Motordrehzahl | n | 1 s | 1-Hz-Mittel | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>0,5 % max | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>0,25 % max |
| Aufnehmer für das Motordrehmoment | T | 1 s | 1-Hz-Mittel | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>1,0 % max | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>0,5 % max |
| Kraftstoffdurchsatzmesser<br>(Kraftstoffzähler) | | 5 s<br>Entfällt | 1 Hz<br>Entfällt | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>1,5 % max | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>0,75 % max |
| Messgerät für den Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases (CVS)<br>(mit Wärmetauscher vor dem Messgerät) | | 1 s<br>(5 s) | 1-Hz-Mittel<br>(1 Hz) | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>1,5 % max | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>0,75 % max |
| Durchsatzmessgeräte für Verdünnungsluft, Ansaugluft, Abgas und Probe | | 1 s | 1-Hz-Mittel von 5-Hz-Proben | 2,5 % des Mittelwerts oder<br>1,5 % max | 1,25 % des Mittelwerts oder<br>0,75 % max |
| Analysator für die kontinuierliche Messung von Rohabgas | x | 5 s | 2 Hz | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>2,0 % des Messwerts | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>1,0 % des Messwerts |
| Analysator für die kontinuierliche Messung von verdünntem Abgas | x | 5 s | 1 Hz | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>2,0 % des Messwerts | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>1,0 % des Messwerts |
| Gasanalysator für die kontinuierliche Messung | x | 5 s | 1 Hz | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>2,0 % des Messwerts | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>1,0 % des Messwerts |
| Gasanalysator für die Messung von Stichproben | x | Entfällt | Entfällt | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>2,0 % des Messwerts | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>1,0 % des Messwerts |

▼B

| Messgeräte | Symbol für die Messgröße | vollständiges System Anstiegzeit | Aufzeichnung Aktualisierungsfrequenz | Genauigkeit [a] | Wiederholbarkeit [a] |
|---|---|---|---|---|---|
| Gravimetrische PM-Waage | $m_{PM}$ | Entfällt | Entfällt | Siehe Nummer 9.4.11 | 0,5 µg |
| PM-Trägheitswaage | $m_{PM}$ | 5 s | 1 Hz | 2,0 % des Mittelwerts oder<br>2,0 % des Messwerts | 1,0 % des Mittelwerts oder<br>1,0 % des Messwerts |

[a] Genauigkeit und Wiederholbarkeit werden anhand der in Nummer 9.4.3 genannten erfassten Daten bestimmt und basieren auf absoluten Werten. „Mittelwert“ bezieht sich auf den am Emissionsgrenzwert erwarteten Gesamtmittelwert; „max.“ 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 dieser Nummer festgelegten Spezifikationen entsprechen. Die Verwendung von Sensoren, Aufnehmern und Messgeräten, die die Spezifikationen gemäß Tabelle 6.8 erfüllen, wird empfohlen. Gesamtsysteme zur Messung der zugeführten und erbrachten Leistung müssen der Linearitätsprüfung nach Nummer 8.1.4 standhalten.

9.4.4.1.2. Kurbelwellenarbeit

Arbeit und Leistung sind aus den Messwerten der Drehzahl- und Drehmomentaufnehmer gemäß Nummer 9.4.4.1 zu berechnen. Gesamtsysteme zur Messung von Drehzahl und Drehmoment müssen laut den Nummern 8.1.7 und 8.1.4 kalibriert und überprüft werden.

Ein durch die Trägheit von mit dem Schwungrad verbundenen beschleunigenden und verlangsamenden 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 Nummer 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 das zu messende Fluid 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.

▼B

9.4.5.1. Kraftstoffdurchsatzmesser

Ein Gesamtsystem zur Messung des Kraftstoffdurchsatzes ist gemäß Nummer 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. Ansaugluftdurchsatzmesser

Ein Gesamtsystem zur Messung des Ansaugluftdurchsatzes ist gemäß Nummer 8.1.8.2 zu kalibrieren.

9.4.5.3. Rohabgasdurchsatzmesser

9.4.5.3.1. Anforderungen an Komponenten

Das Gesamtsystem zur Messung des Rohabgasdurchsatzes muss die Linearitätsanforderungen gemäß Nummer 8.1.4 erfüllen. Ein Rohabgas-Messgerät muss so konzipiert sein, dass es in der Lage ist, Veränderungen des thermodynamischen Zustands, des Fluids und der Zusammensetzung des Rohabgases angemessen zu kompensieren.

9.4.5.3.2. Ansprechzeit des Durchsatzmessers

Zur Steuerung eines Teilstrom-Verdünnungssystems bei der Entnahme einer verhältnisgleichen 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 Nummer 8.2.1.2 entsprechen.

9.4.5.3.3. Abgaskühlung

Diese Nummer gilt nicht für die Kühlung des Abgases aufgrund der Gestaltung des Motors, einschließlich, aber nicht beschränkt auf wassergekühlte Abgaskrümmer oder Turbolader.

Die Kühlung des Abgases vor dem Durchsatzmessgerät ist mit folgenden Einschränkungen zulässig:

a) PM-Proben dürfen nicht nach der Kühlung entnommen werden.

b) Sinken Abgastemperaturen durch die Kühlung von über 475 K (202 °C) auf unter 453 K (180 °C), dürfen HC-Proben nicht nach der Kühlung entnommen werden.

c) Verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung, dürfen $NO_x$-Proben nicht nach der Kühlung entnommen werden, es sei denn, der Kühler hält der Leistungsüberprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4 stand.

d) Verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung vor dem Eintritt in das Durchsatzmessgerät, sind der Taupunkt $T_{dew}$ und der Druck $p_{total}$ am Eintritt des Durchsatzmessgeräts zu messen. Diese Werte sind für die Emissionsberechnungen Anhang VII 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 mithilfe eines Durchsatzmessgeräts für verdünntes Abgas zu ermitteln. Der 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.

▼B

9.4.5.4.2. Anforderungen an Komponenten

Das Gesamtsystem zur Messung des Durchsatzes des verdünnten Abgases muss laut den Nummern 8.1.8.4 und 8.1.8.5 kalibriert und überprüft werden. Die folgenden Messgeräte können verwendet werden:

a) 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.

b) Für das Teilstrom-Verdünnungssystem (PFD) kann ein beliebiges Durchsatzmessgerät in Verbindung mit einem beliebigen aktiven Durchsatzregelsystem zur verhältnisgleichen Beprobung der Abgasbestandteile verwendet werden. Der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases oder ein oder mehrere Probendurchsätze oder eine Kombination aus diesen Durchsatzreglern können zur verhältnisgleichen 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:

a) PM-Proben dürfen nicht nach der Kühlung entnommen werden.

b) Sinken Abgastemperaturen durch die Kühlung von über 475 K (202 °C) auf unter 453 K (180 °C), dürfen HC-Proben nicht nach der Kühlung entnommen werden.

c) Verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung, dürfen $NO_x$-Proben nicht nach der Kühlung entnommen werden, es sei denn, der Kühler hält der Leistungsüberprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4 stand.

d) Verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung vor dem Eintritt in ein Durchsatzmessgerät, sind der Taupunkt $T_{dew}$ und der Druck $p_{total}$ am Eintritt des Durchsatzmessgeräts zu messen. Diese Werte sind für die Emissionsberechnungen Anhang VII 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. Nummer 8.1.8.6.1 enthält Spezifikationen für die Messung des Differenzdurchsatzes bei der Entnahme einer verhältnisgleichen Rohabgasprobe, Nummer 8.1.8.6.2 beschäftigt sich mit der Kalibrierung für die Messung des Differenzdurchsatzes.

Die Kalibrierung des Gesamtsystems zur Messung des Probendurchsatzes muss den Anforderungen nach Nummer 8.1.8 entsprechen.

▼B

9.4.5.6. Gasteiler

Zur Vermischung von Kalibriergasen kann ein Gasteiler eingesetzt werden.

Der verwendete Gasteiler muss Gase entsprechend den Spezifikationen gemäß Nummer 9.5.1 vermischen und dabei die während der Prüfung erwarteten Konzentrationen erzielen. Eingesetzt werden können Gasteiler mit kritischer Strömung, Kapillarrohr-Gasteiler oder thermische Massendurchsatzmesser. 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 Nummer 8.1.4.5 standhalten. Wahlweise kann die Mischvorrichtung mit einem Instrument 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. Der Gasteiler ist bei den verwendeten Einstellungen zu überprüfen, und der Nennwert ist mit der gemessenen Konzentration zu vergleichen.

9.4.6. CO- und $CO_2$-Messungen

Zur Messung der CO- und $CO_2$-Konzentration in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme wird ein nichtdispersiver Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) verwendet.

Das NDIR-basierte System muss den Kalibrierungsanforderungen und der Überprüfung gemäß Nummer 8.1.8.1 standhalten.

9.4.7. Messung von Kohlenwasserstoffen

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 (HFID) verwendet. Die Bestimmung der Kohlenwasserstoffkonzentrationen muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins ($C_1$) erfolgen. Die Temperatur aller Oberflächen beheizter FID-Analysatoren, die mit Emissionen in Kontakt gelangen, muss bei 464 ± 11 K (191 ± 11 °C) gehalten werden. Bei mit Erdgas (NG) und Flüssiggas (LPG) betriebenen sowie bei Motoren mit Fremdzündung kann der Kohlenwasserstoffanalysator ein unbeheizter Flammenionisierungsdektor (FID) sein.

9.4.7.1.2. Anforderungen an Komponenten

Das FID-basierte System zur THC-Messung muss allen Überprüfungen für Kohlenwasserstoffmessungen gemäß Nummer 8.1.10 standhalten.

9.4.7.1.3. FID-Brennstoff und -Brennerluft

FID-Brennstoff und -Brennerluft müssen den Spezifikationen gemäß Nummer 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. Reserviert

9.4.7.1.5. Reserviert

9.4.7.2. Reserviert

9.4.8. $NO_x$-Messungen

▼B

Für $NO_x$-Messungen sind zwei Messgeräte spezifiziert, von denen jedes eingesetzt werden kann, sofern es die in den Nummern 9.4.8.1 bzw. 9.4.8.2 genannten Kriterien erfüllt. Der Chemilumineszenzdetektor dient als Referenzverfahren zum Vergleich mit gemäß Nummer 5.1.1 vorgeschlagenen alternativen Messverfahren.

9.4.8.1. Chemilumineszenzdetektor

9.4.8.1.1. Anwendung

Ein mit einem $NO_2$-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 auf einem CLD basierende System muss der Querempfindlichkeitsprüfung gemäß Nummer 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. $NO_2$-NO-Konverter

Ein interner oder externer $NO_2$-NO-Konverter, der der Überprüfung gemäß Nummer 8.1.11.5 standhält, wird vor dem CLD angebracht, wobei für den Konverter zur Durchführung dieser Überprüfung eine Umgehungsmöglichkeit 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 $NO_2$-NO-Konverter befindet, welcher der Überprüfung gemäß Nummer 8.1.11.5 standhält.

b) Ein CLD wird nach einem Trockner oder thermischen Kühlapparat angeschlossen, welcher der Überprüfung gemäß Nummer 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 System auf der Grundlage eines NDUV muss den Prüfungen gemäß Nummer 8.1.11.3 standhalten.

9.4.8.2.3. $NO_2$-NO-Konverter

Ist der NDUV-Analysator nur zur Messung von NO in der Lage, muss vor dem NDUV-Analysator ein interner oder externer $NO_2$-NO-Konverter, welcher der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.5 standhält, positioniert werden. Zur Durchführung dieser Überprüfung ist für den Konverter eine Umgehungsmöglichkeit vorzusehen.

▼B

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 $NO_2$-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 Nummer 8.1.11.4 standhält.

9.4.9. $O_2$-Messungen

Zur Messung der $O_2$-Konzentration in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme wird ein Analysator zur paramagnetischen Erfassung (paramagnetic detection, PMD) oder magnetopneumatischen Erfassung (magneto pneumatic detection, MPD) verwendet.

9.4.10. Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses

Zur Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses in Rohabgas bei der kontinuierlichen Probenahme kann ein Zirkonanalysator ($ZrO_2$) verwendet werden. Zur Berechnung des Abgasdurchsatzes gemäß Anhang VII können $O_2$-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 6.8 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 Nummer 9.5.2 entsprechen.

Die Waage ist am Aufstellungsort im Hinblick auf die optimale Einschwingzeit und Stabilität zu konfigurieren.

9.4.12. Ammoniak ($NH_3$)-Messungen

Gemäß den Anweisungen des Gerätelieferanten kann ein FTIR (Fourier-Transform Infrarot)-, ein NDUV- oder ein Laser-Infrarot-Analysator verwendet werden.

9.5. Analysegase und Massenormale

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 Mischung mit Kalibriergasen und zur Anpassung der Messinstrumente, sodass ein Null-Kalibrierungsnormal eine Nullantwort auslöst, 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:

▼B

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 6.9, anwendbar für Messungen von Rohabgas oder verdünntem Abgas.

iii) Verunreinigung gemäß Tabelle 6.10, anwendbar für Messungen von Rohabgas.

*Tabelle 6.9*

**Verunreinigungsgrenzwerte, anwendbar für Messungen von Rohabgas oder verdünntem Abgas [µmol/mol = ppm]**

| Bestandteile | Gereinigte synthetische Luft (a) | Gereinigtes $N_2$ (a) |
|---|---|---|
| THC ($C_1$-Äquivalent) | ≤ 0,05 µmol/mol | ≤ 0,05 µmol/mol |
| CO | ≤ 1 µmol/mol | ≤ 1 µmol/mol |
| $CO_2$ | ≤ 1, 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 6.10*

**Verunreinigungsgrenzwerte, anwendbar für Messungen von Rohabgas [µmol/mol = ppm]**

| Bestandteile | Gereinigte synthetische Luft (a) | Gereinigtes $N_2$ (a) |
|---|---|---|
| THC ($C_1$-Äquivalent) | ≤ 1 µmol/mol | ≤ 1 µmol/mol |
| CO | ≤ 1 µmol/mol | ≤ 1 µmol/mol |
| $CO_2$ | ≤ 400 µmol/mol | ≤ 400 µmol/mol |
| $O_2$ | 0,18 bis 0,21 mol/mol | — |
| $NO_x$ | ≤ 0,1 µmol/mol | ≤ 0,1 µmol/mol |

(a) 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 $H_2$-Konzentration von (0,39 bis 0,41) mol/mol (Rest He oder $N_2$) aufweisen. Das Gemisch darf nicht mehr als 0,05 µmol/mol THC enthalten.

▼B

ii) Die verwendete FID-Brennerluft muss den Spezifikationen für gereinigte Luft in Buchstabe a dieser Nummer entsprechen.

iii) FID-Nullgas. Flammenionisationsdetektoren sind mit gereinigtem Gas zu nullen, das den Spezifikationen gemäß Buchstabe a dieser Nummer entspricht, allerdings darf das gereinigte Gas jede beliebige $O_2$-Konzentration aufweisen.

iv) FID-Propanjustiergas. Der THC-FID ist mit Justierkonzentrationen von Propangas ($C_3H_8$) zu justieren und zu kalibrieren. Die Kalibrierung muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins ($C_1$) erfolgen.

v) Reserviert

c) Zu verwenden sind die nachstehenden Gasgemische, wobei die Gase innerhalb von ± 1,0 % auf den wahren Wert der anerkannten internationalen und/oder nationalen Normen oder anderer anerkannter Gasnormen rückführbar sein müssen:

i) Reserviert

ii) Reserviert

iii) $C_3H_8$, Rest gereinigte synthetische Luft und/oder gereinigter $N_2$ (je nach Sachlage);

iv) CO, Rest gereinigter $N_2$;

v) $CO_2$, Rest gereinigter $N_2$;

vi) NO, Rest gereinigter $N_2$;

vii) $NO_2$, Rest gereinigte synthetische Luft;

viii) $O_2$, Rest gereinigter $N_2$;

ix) $C_3H_8$, CO, $CO_2$, NO, Rest gereinigter $N_2$;

x) $C_3H_8$, $CH_4$, CO, $CO_2$, NO, Rest gereinigter $N_2$.

d) Gase anderer Spezies als die in Buchstabe c dieser Nummer genannten (wie Methanol in Luft, das zur Ermittlung von Ansprechfaktoren eingesetzt werden kann) können verwendet werden, sofern sie innerhalb von ± 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 Kalibriergase können mithilfe eines Präzisionsmischers, z. B. eines Gasteilers, zur Verdünnung von Gasen mit gereinigtem $N_2$ oder gereinigter synthetischer Luft erzeugt werden. Entspricht der Gasteiler den Spezifikationen gemäß Nummer 9.4.5.6 und erfüllen die vermischten Gase die Vorgaben laut den Buchstaben a und c dieser Nummer, kann davon ausgegangen werden, dass die erzeugten Gemische den Anforderungen von Nummer 9.5.1.1 entsprechen.

9.5.1.2. Konzentration und Verfallsdatum

Die Konzentration eines genormten Kalibriergases und sein vom Gaslieferanten angegebenes Verfallsdatum sind aufzuzeichnen.

a) Genormte Kalibriergase dürfen nach Ablauf des Verfallsdatums nicht mehr verwendet werden, es sei denn, dies ist gemäß Buchstabe b dieser Nummer zulässig.

▼B

b) Kalibriergase dürfen nach Ablauf ihres Verfallsdatums umetikettiert und verwendet werden, wenn dies im Vorhinein von der Typgenehmigungs- oder Zertifizierungsbehörde 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 Kalibriergase ist zu beachten. Das vom Hersteller angegebene Verfallsdatum der Kalibriergase ist aufzuzeichnen.

9.5.2. Massenormale

Zu verwenden sind zertifizierte, mit einer Unsicherheit von 0,1 % auf anerkannte internationale und/oder nationale Normen rückführbare Kalibriergewichte für PM-Waagen. Kalibriergewichte 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 Kalibriergewichts maximal dem Zehnfachen der Masse eines unbenutzten PM-Probenahmemediums entspricht. Aus dem Kalibrierbericht muss auch die Dichte der Gewichte hervorgehen.

▼B

*Anlage 1*

**Ausrüstung für die Partikelzahlmessung**

1. **Messprüfverfahren**

1.1. Probenahme

Die Zahl der emittierten Partikel wird mittels einer kontinuierlichen Probenahme entweder aus einem Teilstrom-Verdünnungssystem gemäß Nummer 9.2.3 dieses Anhangs oder aus einem Vollstrom-Verdünnungssystem gemäß Nummer 9.2.2 dieses Anhangs gemessen.

1.1.1. Filterung mit Verdünnungsmittel

Für das Filtern des Verdünnungsmittels für die erste und gegebenenfalls die zweite Verdünnung des Abgases im Verdünnungssystem sind Filter zu verwenden, die den Anforderungen an Hochleistungsschwebstoff-Filter (HEPA-Filter) gemäß Artikel 2 Absatz 23 genügen. Vor der Filtrierung im HEPA-Filter kann das Verdünnungsmittel durch Aktivkohle geleitet werden, um die in ihm enthaltenen Kohlenwasserstoffkonzentrationen zu verringern und zu stabilisieren. Es wird empfohlen, vor dem HEPA-Filter und hinter dem Aktivkohlefilter (falls vorhanden) einen zusätzlichen Grobpartikelfilter zu verwenden.

1.2. Ausgleich des Partikel-Probenahmestroms – Vollstrom-Verdünnungssysteme

Um den Massendurchsatz, der dem Verdünnungssystem für die Partikel-Probenahme entnommen wurde, auszugleichen, ist dieser entnommene Massendurchsatz (gefiltert) wieder in das Verdünnungssystem zurückzuführen. Wahlweise kann der Gesamtmassendurchsatz im Verdünnungssystem in Bezug auf die entnommene Partikel-Probenahme auch rechnerisch berichtigt werden. Beträgt der Gesamtmassendurchsatz, der dem Verdünnungssystem für die Summe der Partikel-Anzahl-Probenahme und der Partikelmasse-Probenahme entnommen wurde, weniger als 0,5 % des gesamten durch den Verdünnungstunnel geleiteten verdünnten Abgases (med), so kann diese Berichtigung bzw. diese Rückleitung vernachlässigt werden.

1.3. Ausgleich des Partikel-Probenahmestroms – Teilstrom-Verdünnungssysteme

1.3.1. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen ist der Massendurchsatz, der dem Verdünnungssystem für die Partikel-Probenahme entnommen wurde, im Rahmen der Überprüfung der Proportionalität der Probenahme zu berücksichtigen. Dazu wird entweder der Strom der Partikelprobe vor der Durchsatzmesseinrichtung in das Verdünnungssystem zurückgeleitet oder eine rechnerische Berichtigung gemäß Nummer 1.3.2 vorgenommen. Bei Gesamtpartikelprobenahmen aus Teilstrom-Verdünnungssystemen ist für den Massendurchsatz, der für die Partikel-Probenahme entnommen wurde, in der Berechnung der Partikelmasse ebenfalls eine Berichtigung gemäß Nummer 1.3.3 vorzunehmen.

1.3.2. Der momentane Wert des Abgasdurchsatzes in den Verdünnungstunnel (qmp), der zur Überprüfung der Proportionalität der Probenahme verwendet wird, ist nach einer der folgenden Gleichungen zu berichtigen:

a) Wird der entnommene Partikel-Probenahmestrom verworfen, ist die Gleichung 6-20 in Nummer 8.1.8.6.1 dieses Anhangs durch die Gleichung 6-29 zu ersetzen:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} + q_{ex} \quad (6\text{-}29)$$

▼B

Dabei ist:

$q_{mdew}$ der Massendurchsatz des verdünnten Abgases, kg/s

$q_{mdw}$ der Massendurchsatz der Verdünnungsluft, kg/s

$q_{ex}$ der Massendurchsatz der Partikel-Probenahme, kg/s

Das $q_{ex}$-Signal, das an die Teilstromsystemkontrolle gesendet wird, darf zu keinem Zeitpunkt mehr als ± 0,1 % vom $q_{mdew}$-Wert abweichen und muss mit einer Frequenz von mindestens 1 Hz gesendet werden.

b) Wird der entnommene Partikel-Probenahmestrom vollständig oder teilweise verworfen, aber ein gleichwertiger Strom vor der Durchsatzmesseinrichtung in das Verdünnungssystem zurückgeleitet, ist die Gleichung 6-20 in Nummer 8.1.8.6.1 dieses Anhangs durch die Gleichung 6-30 zu ersetzen:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} + q_{ex} - q_{sw} \quad (6\text{-}30)$$

Dabei ist:

$q_{mdew}$ der Massendurchsatz des verdünnten Abgases, kg/s

$q_{mdw}$ der Massendurchsatz der Verdünnungsluft, kg/s

$q_{ex}$ der Massendurchsatz der Partikel-Probenahme, kg/s

$q_{sw}$ der in den Verdünnungstunnel zurückgeleitete Massendurchsatz zum Ausgleich der Partikel-Probenahme, kg/s

Die Differenz zwischen $q_{ex}$ und $q_{sw}$, das an die Teilstromsystemkontrolle gesendet wird, darf zu keinem Zeitpunkt mehr als ± 0,1 % vom $q_{mdew}$-Wert abweichen. Die Signale müssen mit einer Frequenz von mindestens 1 Hz gesendet werden.

1.3.3. Berichtigung der Messung der Partikelmasse

Wird ein Probestrom für die Partikelzahl bei einer Gesamtpartikelprobenahme aus einem Teilstrom-Verdünnungssystem entnommen, ist die gemäß Anhang VII Nummer 2.3.1.1 berechnete Partikelmasse ($m_{PM}$) wie folgt zu berichtigen, um den entnommenen Strom zu berücksichtigen. Diese Berichtigung ist auch erforderlich, wenn der gefilterte entnommene Strom in die Teilstrom-Verdünnungssysteme zurückgeleitet wird, siehe Gleichung 6-31:

$$m_{PM,corr} = m_{PM} \times \frac{m_{sed}}{(m_{sed} - m_{ex})} \quad (6\text{-}31)$$

Dabei ist:

$m_{PM}$ die nach Anhang VII Nummer 2.3.1.1 ermittelte Partikelmasse in g/Prüfung

$m_{sed}$ die Gesamtmasse des verdünnten Abgases, das den Verdünnungstunnel durchströmt, in kg,

$m_{ex}$ die Gesamtmasse des verdünnten Abgases, das dem Verdünnungstunnel für die Partikel-Probenahme entnommen wird, in kg

1.3.4. Verhältnisgleichheit der Partikel-Probenahme aus einem Teilstrom-Verdünnungssystem

Für die Partikelzahlmessung ist der Massendurchsatz des Abgases, der nach einem der Verfahren nach den Nummern 8.4.1.3 bis 8.4.1.7 dieses Anhangs ermittelt wird, zur Kontrolle des Teilstrom-Verdünnungssystems zu verwenden, indem eine dem Massendurchsatz des Abgases verhältnisgleiche Probe entnommen wird. Die Qualität der Verhältnisgleichheit ist nach Nummer 8.2.1.2 dieses Anhangs durch eine Regressionsanalyse zwischen Probenstrom und Abgasstrom zu überprüfen.

1.3.5. Partikelzahlberechnung

Die Verfahren zur Ermittlung und Berechnung der PN sind in Anhang VII Anlage 5 festgelegt.

▼B

2. **Messausrüstung**

2.1. Spezifikation

2.1.1. Beschreibung des Systems

2.1.1.1. Das Partikel-Probenahmesystem besteht aus einer Sonde oder Probenahmestelle, über die eine Probe aus einem homogenen Gemisch des Stroms in einem Verdünnungssystem gemäß Nummer 9.2.2 oder 9.2.3 dieses Anhangs entnommen wird, aus einem Entferner flüchtiger Partikel (volatile particle remover, VPR), der sich vor einem Partikelzähler (particle number counter, PNC) befindet, sowie aus geeigneten Übertragungsrohren.

2.1.1.2. Es wird empfohlen, einen Partikelgrößenvorklassierer (Abscheider, Impinger usw.) vor der Einflussöffnung zum Entferner flüchtiger Partikel einzusetzen. Eine Probenahmesonde entsprechend der Darstellung in Abbildung 6.8 kann jedoch als geeignete Vorrichtung zur Größenklassierung alternativ zu einem Vorklassierer für Partikel verwendet werden. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen kann derselbe Vorklassierer für die Partikelmasse und die Partikelzahl-Probenahme verwendet werden, wenn die Partikelzahl-Probenahme aus dem Verdünnungssystem hinter dem Vorklassierer erfolgt. Alternativ können auch getrennte Vorklassierer verwendet werden, wenn die Partikelzahl-Probenahme aus dem Verdünnungssystem vor dem Vorklassierer erfolgt.

2.1.2. Allgemeine Anforderungen

2.1.2.1. Die Partikel-Probenahmestelle muss sich in einem Verdünnungssystem befinden.

Die Sondenspitze oder die Partikel-Probenahmestelle sowie das Übertragungsroh (particle transfer tube, PTT) bilden zusammen das Partikelübertragungssystem (particle transfer system, PTS). Die Probe wird durch das Partikelübertragungssystem aus dem Verdünnungstunnel zur Einflussöffnung des Entferners flüchtiger Partikel geleitet. Das Partikelübertragungssystem muss folgende Voraussetzungen erfüllen:

Bei Vollstrom-Verdünnungssystemen und Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Teilprobenahme (gemäß Nummer 9.2.3 dieses Anhangs) wird die Probenahmesonde nahe der Mittellinie des Verdünnungstunnels, 10 bis 20 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt angebracht, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten, und gegen den Abgasstrom in den Tunnel gerichtet, wobei sich ihre Achse an der Spitze parallel zu der des Verdünnungstunnels befindet. Die Probenahmesonde ist innerhalb des Verdünnungstunnels so anzubringen, dass die Probe aus einem homogenen Gemisch aus Verdünnung und Abgasen entnommen werden kann.

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Gesamtpartikelprobenahmen (gemäß Nummer 9.2.3 dieses Anhangs) muss sich die Partikel-Probenahmestelle oder die Probenahmesonde im Partikelübertragungsrohr vor dem Partikelfilterhalter, der Durchsatzmesseinrichtung und gegebenenfalls vorhandenen Gabelungen oder Abzweigungen der Probenahmenleitung oder der Umgehungsleitung befinden. Die Partikel-Probenahmestelle oder die Probenahmesonde ist so anzubringen, dass die Probe aus einem homogenen Gemisch aus Verdünnung und Abgasen entnommen werden kann. Die Abmessungen der Probenahmesonde dürfen den Betrieb des Teilstrom-Verdünnungssystems nicht beeinflussen.

Das durch das Partikelübertragungssystem geleitete Gas muss folgende Voraussetzungen erfüllen:

a) Bei Vollstrom-Verdünnungssystemen muss die Reynolds-Zahl (Re) kleiner als 1 700 sein.

b) Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen muss die Reynolds-Zahl (Re) im Partikelübertragungsrohr, d. h. hinter der Probenahmesonde oder der Probenahmestelle, kleiner als 1 700 sein.

▼B

c) Seine Verweildauer im Partikelübertragungssystem darf höchstens 3 Sekunden betragen.

d) Andere Probenahmeeinstellungen des Partikelübertragungssystems sind zulässig, wenn ein gleichwertiger Partikeldurchsatz in der Größenordnung von 30 nm nachgewiesen wird.

e) Das Auslassrohr (outlet tube, OT), durch das die verdünnte Probe vom Entferner flüchtiger Partikel zum Einlass des Partikelzählers geleitet wird, muss folgende Eigenschaften besitzen:

f) Es muss einen Mindestinnendurchmesser von 4 mm haben.

g) Die Verweildauer des Probengasstroms durch das Auslassrohr darf höchstens 0,8 Sekunden betragen.

h) Andere Probenahmeanordnungen für das Auslassrohr sind zulässig, wenn ein gleichwertiger Partikeldurchsatz in der Größenordnung von 30 nm nachgewiesen wird.

2.1.2.2. Der Entferner flüchtiger Partikel muss über Funktionen verfügen, die die Verdünnung der Probe und das Entfernen flüchtiger Partikel ermöglichen.

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

2.1.2.4. Das Partikel-Probenahmesystem muss bewährten Verfahren für die Aerosolprobenahme entsprechen, d. h., es müssen scharfe Biegungen und plötzliche Änderungen des Querschnitts vermieden, glatte Innenflächen verwendet und die Länge der Probenahmeleitung möglichst gering gehalten werden. Allmähliche Querschnittsänderungen sind zulässig.

2.1.3. Besondere Anforderungen

2.1.3.1. Die Partikelprobe darf vor dem Erreichen des Partikelzählers nicht durch eine Pumpe strömen.

2.1.3.2. Es wird empfohlen, einen Probenahmenvorklassierer zu verwenden.

2.1.3.3. Die Einrichtung zur Vorkonditionierung der Proben muss folgenden Anforderungen genügen:

2.1.3.3.1. Sie muss die Verdünnung der Probe in einer oder mehreren Stufen derart ermöglichen, dass eine Konzentration der Partikelzahl unterhalb der oberen Schwelle des Einzelpartikelzählmodus des Partikelzählers und eine Gastemperatur von weniger als 308 K (35 °C) am Einlass des Partikelzählers erreicht werden.

2.1.3.3.2. Sie muss über eine erste Verdünnungsstufe verfügen, in der eine Hitzeverdünnung erfolgt, d. h. die Probe wird auf eine Temperatur von $\geq$ 423 K (150 °C) und $\leq$ 673 K (400 °C) gebracht und mit einem Faktor von mindestens 10 verdünnt.

2.1.3.3.3. Sie muss die Stufen der Hitzeverdünnung so kontrollieren, dass die Nennbetriebstemperaturen mit einer Abweichung von ± 10 °C konstant innerhalb des in Absatz 2.1.4.3.2 genannten Bereiches liegen. Sie muss mit einer Funktion versehen sein, die anzeigt, ob die Betriebstemperaturen der Hitzeverdünnungsstufen im vorgeschriebenen Bereich liegen.

2.1.3.3.4. Sie muss einen Minderungsfaktor der Partikelkonzentration ($f_r(d_i)$) gemäß Absatz 2.2.2.2 erreichen, der für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm und 50 nm höchstens 30 % bzw. 20 % höher und höchstens 5 % niedriger als der Minderungsfaktor für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 100 nm für den Entferner flüchtiger Partikel insgesamt ist.

▼B

2.1.3.3.5. In Bezug auf Tetracontanpartikel ($CH_3(CH_2)_{38}CH_3$) von einer Größe von 30 nm einen Verdampfungswert von mehr als 99,0 % erzielen, wobei die Konzentration am Einlass mindestens 10 000 $cm^{-3}$ betragen muss; zu diesem Zweck ist das Tetracontan zu erhitzen, und seine Partialdrücke sind zu verringern.

2.1.3.4. Der Partikelzähler muss folgende Bedingungen erfüllen:

2.1.3.4.1. Er arbeitet im Vollstrombetrieb.

2.1.3.4.2. Die Zählgenauigkeit auf der Grundlage einer verfolgbaren Norm liegt im gesamten Bereich von 1 $cm^{-3}$ bis zur oberen Schwelle des Einzelpartikelzählmodus des Partikelzählers bei ± 10 %. Betragen die Konzentrationen weniger als 100 $cm^{-3}$, werden gegebenenfalls Durchschnittsmessungen über längere Probenahmezeiträume erforderlich, um die Genauigkeit des Partikelzählers mit einem hohen Maß an statistischer Verlässlichkeit nachweisen zu können.

2.1.3.4.3. Die Ablesegenauigkeit beträgt mindestens 0,1 Partikel $cm^{-3}$ bei Konzentrationen von weniger als 100 $cm^{-3}$.

2.1.3.4.4. Das Ansprechverhalten auf Partikelkonzentrationen ist im gesamten Messbereich im Einzelpartikel-Zählmodus linear.

2.1.3.4.5. Die Datenübermittlungsfrequenz beträgt mindestens 0,5 Hz.

2.1.3.4.6. Die Ansprechzeit im gesamten gemessenen Konzentrationsbereich beträgt weniger als 5 s.

2.1.3.4.7. Eine Funktion zur maximal zehnprozentigen Berichtigung der Koinzidenz ist vorhanden, und ein interner Kalibrierfaktor gemäß Nummer 2.2.1.3 kann zur Anwendung kommen; es darf jedoch kein sonstiger Algorithmus zur Berichtigung oder Bestimmung der Effizienz der Zählfunktion eingesetzt werden.

2.1.3.4.8. Die Effizienz der Zählfunktion für Partikelgrößen mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 23 nm (± 1 nm) und 41 nm (± 1 nm) muss 50 % (± 12 %) bzw. mehr als 90 % betragen. Diese Zähleffizienzen können mit internen Mitteln (z. B. der geeigneten Konstruktion der Geräte) oder externen Mitteln (z. B. der Größenvorklassierung) erreicht werden.

2.1.3.4.9. Wird im Partikelzähler eine Betriebsflüssigkeit verwendet, so ist diese gemäß der vom Instrumentenhersteller angegebenen Häufigkeit zu wechseln.

2.1.3.5. Werden der Druck und/oder die Temperatur an der Stelle, an der der Partikelzähler-Durchsatz kontrolliert wird, nicht auf einem bekannten konstanten Niveau gehalten, sind diese am Einlass zum Partikelzähler zu messen und zu melden, um die Messungen der Partikelkonzentration auf Standardbedingungen zu berichtigen.

2.1.3.6. Die Summe der Verweilzeiten im PTS, VPR und OT und der Ansprechzeit des PNC darf nicht größer als 20 s sein.

2.1.3.7. Die Wandlungszeit des gesamten Partikelzahl-Probenahmesystems (Partikelübertragungssystem, Entferner flüchtiger Partikel, Auslassrohr und Partikelzähler) wird durch einen Wechsel des Aerosols unmittelbar am Einlass zum Partikelübertragungssystem ermittelt. Der Aerosolwechsel muss in weniger als 0,1 s erfolgen. Das für die Prüfung verwendete Aerosol muss eine Veränderung der Konzentration von mindestens 60 % des Skalenendwertes bewirken.

Die Konzentrationsspur ist aufzuzeichnen. Für den Zeitabgleich der Signale der Konzentration der Partikelanzahl und des Abgasstroms ist die Wandlungszeit definiert als der Zeitabstand vom Wechsel ($t_0$) bis zum Anstieg des angezeigten Messwerts auf 50 % des Endwertes ($t_{50}$).

▼B

2.1.4. Empfohlene Systemmerkmale

In dieser Nummer ist das empfohlene Verfahren zur Messung der Partikelzahl beschrieben. Jedoch ist jedes System zulässig, das die in den Nummern 2.1.2 und 2.1.3 genannten Leistungsspezifikationen erfüllt.

Die Abbildungen 6.9 und 6.10 enthalten schematische Darstellungen der empfohlenen Konfigurationen des Partikel-Probenahmesystems für Teilstrom- und Vollstrom-Verdünnungssysteme.

*Abbildung 6.9*

**Darstellung des empfohlenen Partikel-Probenahmesystems – Teilstrom-Probenahme**

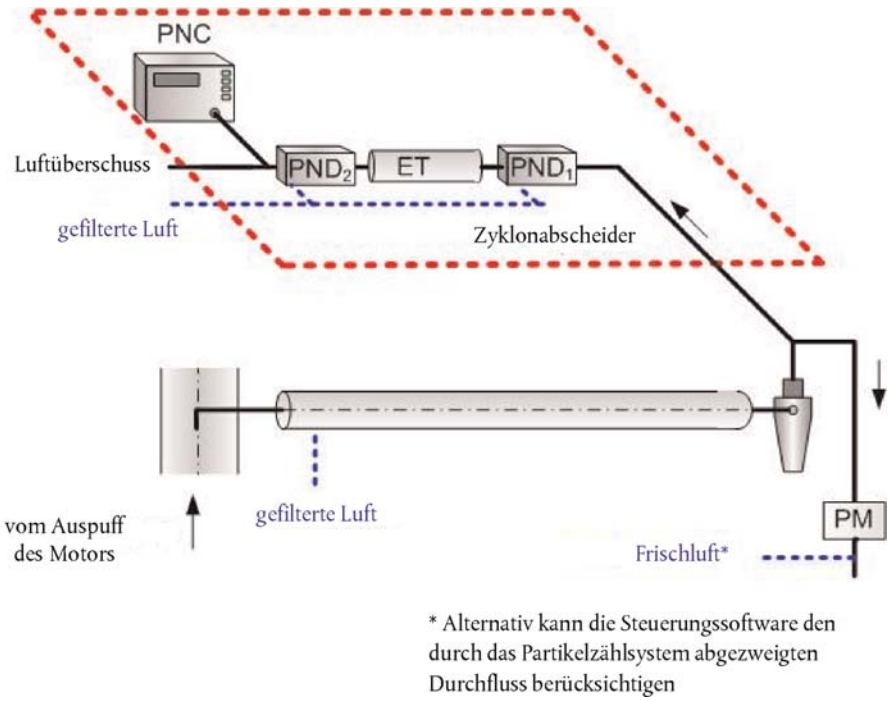
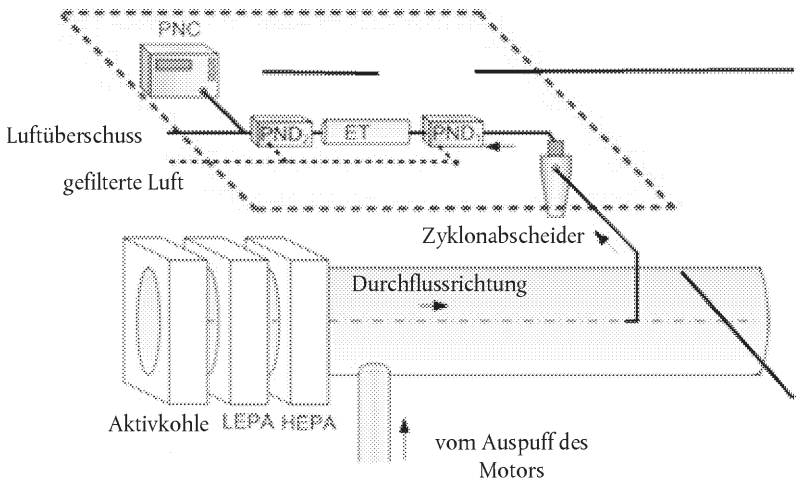



*Abbildung 6.10*

**Darstellung des empfohlenen Partikel-Probenahmesystems – Vollstrom-Probenahme**



▼B

2.1.4.1. Beschreibung des Probenahmesystems

Das Partikel-Probenahmesystem besteht aus einer Probenahme-Sondenspitze oder einer Partikel-Probenahmestelle im Verdünnungssystem, einem Partikel-Übertragungsrohr, einem Partikelvorklassierer und einem Entferner flüchtiger Partikel, der sich vor dem Bauteil zur Messung der Konzentration der Partikelzahl (PNC) befindet. Der Entferner flüchtiger Partikel VPR muss über Funktionen verfügen, die die Verdünnung der Probe (Partikelzahlverdünner: $PND_1$ und $PND_2$) und die Partikelverdampfung (Verdampfungsrohr: ET) ermöglichen. Die Probenahmesonde oder die Probenahmestelle für den Prüfgasstrom ist so im Verdünnungstunnel einzurichten, dass ein repräsentativer Probenahmegasstrom aus einem homogenen Gemisch aus Verdünnung und Abgasen entnommen werden kann. Die Summe der Verweilzeiten im System und der Ansprechzeit des PNC darf nicht größer als 20 s sein.

2.1.4.2. Partikelübertragungssystem

Die Sondenspitze oder die Partikel-Probenahmestelle sowie das Übertragungsrohr bilden zusammen das Partikelübertragungssystem. Die Probe wird durch das Partikelübertragungssystem aus dem Verdünnungstunnel zur Einlassöffnung des ersten Partikelanzahlverdünners geleitet. Das Partikelübertragungssystem muss folgende Voraussetzungen erfüllen:

Bei Vollstrom-Verdünnungssystemen und Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Teilprobenahme (gemäß Nummer 9.2.3 dieses Anhangs) wird die Probenahmesonde nahe der Mittellinie des Verdünnungstunnels, 10 bis 20 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt angebracht, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten, und gegen den Abgasstrom in den Tunnel gerichtet, wobei sich ihre Achse an der Spitze parallel zu der des Verdünnungstunnels befindet. Die Probenahmesonde ist innerhalb des Verdünnungstunnels so anzubringen, dass die Probe aus einem homogenen Gemisch aus Verdünnung und Abgasen entnommen werden kann.

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Gesamtpartikelprobenahmen (gemäß Nummer 9.2.3 dieses Anhangs) muss sich die Partikel-Probenahmestelle im Partikelübertragungsrohr vor dem Partikelfilterhalter, der Durchsatzmesseinrichtung und gegebenenfalls vorhandenen Gabelungen oder Abzweigungen der Probenahmenleitung befinden. Die Partikel-Probenahmestelle oder die Probenahmesonde ist so anzubringen, dass die Probe aus einem homogenen Gemisch aus Verdünnung und Abgasen entnommen werden kann.

Das durch das Partikelübertragungssystem geleitete Gas muss folgende Voraussetzungen erfüllen:

Die Reynolds-Zahl (Re) muss kleiner als 1 700 sein.

Seine Verweildauer im Partikelübertragungssystem darf höchstens 3 Sekunden betragen.

Andere Probenahmeeinstellungen für das Partikelübertragungssystem sind zulässig, wenn für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm ein gleichwertiger Partikeldurchsatz nachgewiesen wird.

Das Auslassrohr, durch das die verdünnte Probe vom Entferner flüchtiger Partikel zum Einlass des Partikelzählers geleitet wird, muss folgende Eigenschaften besitzen:

Es muss einen Mindestinnendurchmesser von 4 mm haben.

Die Verweildauer des Probengasstroms im Auslassrohr darf höchstens 0,8 Sekunden betragen.

▼B

Andere Probenahmeeinstellungen für das Partikelübertragungssystem sind zulässig, wenn für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm ein gleichwertiger Partikeldurchsatz nachgewiesen wird.

2.1.4.3. Partikelvorklassierer

Der empfohlene Partikelvorklassierer muss sich vor dem Entferner flüchtiger Partikel befinden. Der Partikeldurchmesser in Bezug auf den 50 %-Trennschnitt des Partikelvorklassierers muss bei dem Durchfluss, der für die Emissionen zur Partikelanzahl-Probenahme gewählt wurde, zwischen 2,5 μm und 10 μm betragen. Der Partikelvorklassierer muss mindestens 99 % der Massenkonzentration an 1 μm großen Partikeln, die in den Partikelvorklassierer hineinströmen, bei dem Durchfluss, der für die Emissionen zur Partikelanzahl-Probenahme gewählt wurde, durch den Auslass des Partikelvorklassierers strömen lassen. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen kann derselbe Vorklassierer für die Partikelmasse- und die Partikelzahl-Probenahme verwendet werden, wenn die Partikelzahl-Probenahme aus dem Verdünnungssystem hinter dem Vorklassierer erfolgt. Alternativ können auch getrennte Vorklassierer verwendet werden, wenn die Partikelzahl-Probenahme aus dem Verdünnungssystem vor dem Vorklassierer erfolgt.

2.1.4.4. Entferner flüchtiger Partikel

Der Entferner flüchtiger Partikel besteht aus einem Partikelanzahlverdünner ($PND_1$), einem Verdampfungsrohr und einem zweiten Partikelanzahlverdünner ($PND_2$); diese Bauteile müssen hintereinander angeordnet sein. Mit dieser Verdünnungsfunktion soll die Konzentration der Partikelzahl der Probe, die in das Bauteil zur Messung der Partikelkonzentration strömt, auf weniger als den oberen Schwellenwert des Einzelpartikelzählmodus des Partikelzählers verringert und die Keimbildung in der Probe unterdrückt werden. Der Entferner flüchtiger Partikel muss mit einer Funktion versehen sein, die anzeigt, ob die Betriebstemperaturen des $PND_1$ und des Verdampfungsrohrs im vorgeschriebenen Bereich liegen.

Der Entferner flüchtiger Partikel muss in Bezug auf Tetracontanpartikel ($CH_3(CH_2)_{38}CH_3$) von einer Größe von 30 nm einen Verdampfungswert von mehr als 99,0 % erzielen, wobei die Konzentration am Einlass mindestens 10 000 $cm^{-3}$ betragen muss; zu diesem Zweck ist das Tetracontan zu erhitzen, und seine Partialdrücke sind zu verringern. Er muss ferner einen Minderungsfaktor der Partikelkonzentration ($f_r$) erreichen, der für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm und 50 nm höchstens 30 % bzw. 20 % höher und höchstens 5 % niedriger als der Minderungsfaktor für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 100 nm für den Entferner flüchtiger Partikel insgesamt ist.

2.1.4.4.1. Erster Partikelzahlverdünner ($PND_1$)

Der erste Partikelzahlverdünner muss speziell für die Verdünnung der Konzentration der Partikelanzahl und für den Betrieb bei einer (Wand-)Temperatur von 423 K bis 673 K (150 °C bis 400 °C) ausgelegt sein. Der Sollwert der Wandtemperatur sollte innerhalb dieses Bereichs und mit einer Abweichung von ± 10 °C auf einer konstanten Nennbetriebstemperatur gehalten werden und nicht die Wandtemperatur des Verdampfungsrohrs überschreiten (Nummer 2.1.4.4.2). Der Verdünner sollte mit verdünnter Luft aus einem HEPA-Filter versorgt werden und einen 10- bis 200-fachen Verdünnungsfaktor erzielen können.

2.1.4.4.2. Verdampfungsrohr (ET)

Die gesamte Länge des Verdampfungsrohres ist auf eine Wandtemperatur hin zu kontrollieren, die mindestens der Temperatur des ersten Partikelanzahlverdünners entspricht, und die Wandtemperatur sollte auf einer festen Nennbetriebstemperatur zwischen 300 °C und 400 °C mit einer Abweichung von ± 10 °C gehalten werden.

▼B

2.1.4.4.3. Zweiter Partikelzahlverdünner ($PND_2$)

Der zweite Partikelzahlverdünner ($PND_2$) muss speziell für die Verdünnung der Konzentration der Partikelzahl ausgelegt sein. Der Verdünner sollte mit verdünnter Luft aus einem HEPA-Filter versorgt werden und einen einzigen 10- bis 30-fachen Verdünnungsfaktor aufrechterhalten können. Für den Verdünnungsfaktor des zweiten Partikelzahlverdünners ist ein Wert zwischen der 10- bis 15-fachen Verdünnung dahingehend auszuwählen, dass die Konzentration der Partikelanzahl hinter dem zweiten Verdünner unterhalb der oberen Schwelle des Einzelpartikelzählmodus des Partikelzählers liegt und die Gastemperatur am Einlass des Partikelzählers weniger als 35 °C beträgt.

2.1.4.5. Partikelzähler

Der Partikelzähler muss die Bedingungen von Nummer 2.1.3.4 erfüllen.

2.2. Kalibrierung/Validierung des Partikel-Probenahmesystems ([1])

2.2.1. Kalibrierung des Partikelzählers

2.2.1.1 Der technische Dienst gewährleistet, dass für den Partikelzähler ein Kalibrierzertifikat vorliegt, aus dem für den zwölfmonatigen Zeitraum vor den Emissionsprüfungen der Nachweis über die Übereinstimmung mit einer verfolgbaren Norm hervorgeht.

2.2.1.2. Der Partikelzähler ist nach jeder größeren Wartung erneut zu kalibrieren, und ein neues Kalibrierzertifikat ist auszustellen.

2.2.1.3. Die verfolgbare Kalibrierung ist auf der Grundlage einer genormten Kalibrierungsmethode wie folgt durchzuführen:

a) Durch Vergleich des Ansprechens des Partikelzählers während des Kalibriervorgangs mit dem Ansprechen eines kalibrierten Aerosol-Elektrometers, wenn gleichzeitig Probenahmen von elektrostatisch klassifizierten Kalibrierungspartikeln erfolgen oder

b) durch Vergleich des Ansprechens des Partikelzählers während des Kalibriervorgangs mit dem Ansprechen eines zweiten Partikelzählers, der direkt mit der oben genannten Methode kalibriert wurde.

Beim Einsatz eines Elektrometers muss die Kalibrierung derart erfolgen, dass mindestens sechs Standardkonzentrationen, die so gleichmäßig wie möglich über den Messbereich des Partikelzählers verteilt sind, verwendet werden. In diesen Punkten ist ein Nullpunkt für die Nennkonzentration enthalten, der durch die Anbringung von HEPA-Filtern, die mindestens der Klasse H13 gemäß EN 1822:2008 oder gleichwertiger Leistungsstärke entsprechen, am Einlass jedes Instruments erzielt wird. Wird kein Kalibrierungsfaktor auf den zu kalibrierenden Partikelzähler angewendet, so müssen die gemessenen Konzentrationen bei jeder zugrunde gelegten Konzentration mit einer Abweichung von ± 10 % der standardisierten Konzentration entsprechen, mit Ausnahme des Nullpunktes, andernfalls ist der zu kalibrierende Partikelzähler abzulehnen. Der Gradient einer linearen Regression der beiden Datensätze ist zu berechnen und aufzuzeichnen. Ein Kalibrierungsfaktor, der dem Kehrwert des Gradienten entspricht, ist auf den zu kalibrierenden Partikelzähler anzuwenden. Die Linearreaktion wird als das Quadrat aus dem Korrelationskoeffizienten (Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson) ($R^2$) der beiden Datensätze berechnet und muss größer oder gleich 0,97 sein. Bei der Berechnung des Gradienten und von $R^2$ ist die lineare Regression durch den Ausgangspunkt (Null-Konzentration auf beiden Instrumenten) zu lenken.

([1]) Beispiele für Kalibrierungs- und Validierungsmethoden sind auf folgender Internetseite verfügbar: www.unece.org/es/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grpe/pmpfcp

▼B

Bei der Verwendung des Bezugspartikelzählers muss die Kalibrierung derart erfolgen, dass mindestens sechs Standardkonzentrationen so gleichmäßig wie möglich über den Messbereich des Partikelzählers verteilt sind. Mindestens drei Punkte müssen Konzentrationen von weniger als 1 000 $cm^{-3}$ entsprechen; die weiteren Konzentrationen müssen linear zwischen 1 000 $cm^{-3}$ und dem Maximum des Partikelzählerbereichs im Einzelpartikelzählmodus liegen. In diesen Punkten ist ein Nullpunkt für die Nennkonzentration enthalten, der durch die Anbringung von HEPA-Filtern, die mindestens der Klasse H13 gemäß EN 1822:2008 oder gleichwertiger Leistungsstärke entsprechen, am Einlass jedes Instruments erzielt wird. Wird kein Kalibrierungsfaktor auf den zu kalibrierenden Partikelzähler angewendet, so müssen die gemessenen Konzentrationen bei jeder zugrunde gelegten Konzentration mit einer Abweichung von ± 10 % der standardisierten Konzentration entsprechen, mit Ausnahme des Nullpunktes. Andernfalls ist der zu kalibrierende Partikelzähler abzulehnen. Der Gradient einer linearen Regression der beiden Datensätze ist zu berechnen und aufzuzeichnen. Ein Kalibrierungsfaktor, der dem Kehrwert des Gradienten entspricht, ist auf den zu kalibrierenden Partikelzähler anzuwenden. Die Linearreaktion wird als das Quadrat aus dem Korrelationskoeffizienten (Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson) ($R^2$) der beiden Datensätze berechnet und muss größer oder gleich 0,97 sein. Bei der Berechnung des Gradienten und von $R^2$ ist die lineare Regression durch den Ausgangspunkt (Null-Konzentration auf beiden Instrumenten) zu führen.

2.2.1.4. Bei der Kalibrierung ist auch zu überprüfen, ob die Vorschriften von Nummer 2.1.3.4.8 hinsichtlich der Nachweiseffizienz des PNC bei Partikeln mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 23 nm eingehalten sind. Eine Überprüfung der Zähleffizienz bei Partikeln mit einem Durchmesser von 41 nm ist nicht erforderlich.

2.2.2. Kalibrierung/Validierung des Entferners flüchtiger Partikel

2.2.2.1. Die Kalibrierung der Minderungsfaktoren der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel über seinen gesamten Bereich der Verdünnungswerte bei den festen Nennbetriebstemperaturen des Instruments wird erforderlich, wenn das Bauteil neu ist und nach jeder größeren Wartung. Die Anforderung einer regelmäßigen Überprüfung des Minderungsfaktors der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel ist auf die Überprüfung mit einer festen Einstellung beschränkt, die in der Regel für die Messung bei nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen oder Geräten mit Dieselpartikelfiltern verwendet wird. Der technische Dienst sorgt dafür, dass in den sechs Monaten vor den Emissionsprüfungen für den Entferner flüchtiger Partikel ein Kalibrier- oder Validierungszertifikat vorliegt. Verfügt der Entferner flüchtiger Partikel über Alarmvorrichtungen für die Temperaturüberwachung, ist ein zwölfmonatiges Validierungsintervall zulässig.

Der Entferner flüchtiger Partikel muss für einen Minderungsfaktor der Partikelkonzentration mit festen Partikeln von einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm, 50 nm und 100 nm ausgelegt sein. Er muss ferner einen Minderungsfaktor der Partikelkonzentration ($f_r(d)$) erreichen, der für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm und 50 nm höchstens 30 % bzw. 20 % höher und höchstens 5 % niedriger als der Minderungsfaktor für Partikel mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 100 nm ist. Für die Validierung muss der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration innerhalb von ± 10 % des Minderungsfaktors des Mittelwerts der Partikelkonzentration ($\overline{f}_r$) liegen, der bei der Primärkalibrierung des Entferners flüchtiger Partikel ermittelt wurde.

2.2.2.2. Das Prüfaerosol muss für diese Messungen aus festen Partikeln mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von 30 nm, 50 nm und 100 nm bestehen, und seine Mindestkonzentration muss am Einlass zum Entferner flüchtiger Partikel 5 000 Partikel $cm^{-3}$ betragen. Die Partikelkonzentrationen sind vor und hinter den Bauteilen zu messen.

▼B

Für jede Partikelgröße ist der Minderungsfaktor der Partikelkonzentration ($f_r(d_i)$) nach der Gleichung 6-32 zu berechnen:

$$f_r(d_i) = \frac{N_{in}(d_i)}{N_{out}(d_i)} \quad (6\text{-}32)$$

Dabei ist:

$N_{in}(d_i)$ die Partikelkonzentration bei Partikeln mit dem Durchmesser $d_i$ (stromaufwärts gemessen)

$N_{out}(d_i)$ die Partikelkonzentration bei Partikeln mit dem Durchmesser $d_i$ (stromabwärts gemessen)

$d_i$ der elektrische Mobilitätsdurchmesser der Partikel (30 nm, 50 nm oder 100 nm) $N_{in}(d_i)$ und $N_{out}(d_i)$

sind zu denselben Bedingungen zu berichtigen.

Der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration ($\overline{f}_r$) bei einem bestimmten Verdünnungswert wird nach Gleichung 6-33 berechnet:

$$\overline{f}_r = \frac{f_r(30nm) + f_r(50nm) + f_r(100nm)}{3} \quad (6\text{-}33)$$

Es wird empfohlen, den Entferner flüchtiger Partikel als vollständiges Bauteil zu kalibrieren und zu validieren.

2.2.2.3. Der technische Dienst sorgt dafür, dass für den Entferner flüchtiger Partikel in den sechs Monaten vor den Emissionsprüfungen ein Validierungszertifikat vorliegt, aus dem der Nachweis über die Funktionsfähigkeit hervorgeht. Verfügt der Entferner flüchtiger Partikel über Alarmvorrichtungen für die Temperaturüberwachung, ist ein zwölfmonatiges Validierungsintervall zulässig. Der Entferner flüchtiger Partikel muss in Bezug auf Tetracontanpartikel ($CH_3(CH_2)_{38}CH_3$) mit einem elektrischen Mobilitätsdurchmesser von mindestens 30 nm nachweislich mehr als 99,0 % dieser Partikel entfernen können, wobei die Konzentration am Einlass mindestens 10 000 $cm^{-3}$ betragen muss; ferner sind der Mindestverdünnungswert und die vom Hersteller empfohlene Betriebstemperatur zu wählen.

2.2.3. Verfahren zur Überprüfung des Partikelzählsystems

2.2.3.1. Vor jeder Prüfung muss der Partikelzähler eine gemessene Konzentration von weniger als 0,5 Partikel $cm^{-3}$ anzeigen, nachdem ein HEPA-Filter, der mindestens der Klasse H13 gemäß EN 1822:2008 oder gleichwertiger Leistungsstärke entspricht, am Einlass des vollständigen Partikel-Probenahmesystems (Entferner flüchtiger Partikel und Partikelzähler) angebracht wurde.

2.2.3.2. Einmal pro Monat muss die mit einem kalibrierten Durchsatzmesser vorgenommene Messung des Stroms in den Partikelzähler einen Wert anzeigen, der innerhalb von 5 % des Nenndurchsatzes des Partikelzählers liegt.

2.2.3.3. Der Partikelzähler muss täglich eine Konzentration von höchstens 0,2 $cm^{-3}$ anzeigen, nachdem ein HEPA-Filter, der mindestens der Klasse H13 gemäß EN 1822:2008 oder gleichwertiger Leistungsstärke entspricht, am Einlass des Partikelzählers angebracht wurde. Nach der Entfernung dieses Filters muss der Partikelzähler eine Zunahme der gemessenen Konzentration auf mindestens 100 Partikel $cm^{-3}$ aufweisen, wenn er Umgebungsluft ausgesetzt wird, und eine Abnahme auf höchstens 0,2 $cm^{-3}$, wenn der HEPA-Filter wieder angebracht wird.

2.2.3.4. Vor Beginn jeder Prüfung muss gewährleistet sein, dass das Messsystem anzeigt, dass das Verdampfungsrohr, wenn vorhanden, seine vorgeschriebene Betriebstemperatur erreicht hat.

2.2.3.5. Vor Beginn jeder Prüfung muss gewährleistet sein, dass das Messsystem anzeigt, dass der Partikelanzahlverdünner $PND_1$ seine vorgeschriebene Betriebstemperatur erreicht hat.

▼B

*Anlage 2*

**Einbauvorschriften für Ausrüstung und Hilfseinrichtungen**

| Anzahl | Ausrüstungsteile und Hilfseinrichtungen | Für Emissionsprüfung angebaut |
|---|---|---|
| 1 | Ansaugsystem | |
| | Ansaugkrümmer | Ja |
| | Kurbelgehäuseentlüftung | Ja |
| | Luftdurchsatzmesser | Ja |
| | Luftfilter | Ja ([a]) |
| | Ansauggeräuschdämpfer | Ja ([a]) |
| 2 | Auspuffanlage | |
| | Abgasnachbehandlungssystem | Ja |
| | Auspuffkrümmer | Ja |
| | Verbindungsrohre | Ja ([b]) |
| | Schalldämpfer | Ja ([b]) |
| | Auspuffendrohr | Ja ([b]) |
| | Staudruckbremse | Nein ([c]) |
| | Einrichtung zur Aufladung | Ja |
| 3 | Kraftstoffpumpe | Ja ([d]) |
| 4 | Kraftstoffeinspritzung | |
| | Vorfilter | Ja |
| | Filter | Ja |
| | Pumpe | Ja |
| 5 | Hochdruckleitung | Ja |
| | Einspritzdüse | Ja |
| | Elektronisches Steuergerät, Sensoren usw. | Ja |
| | Regler/Steuersystem | Ja |
| | Automatischer Regelstangen-Volllastanschlag in Abhängigkeit von den atmosphärischen Bedingungen | Ja |
| 6 | Flüssigkeitskühlung | |
| | Kühler | Nein |
| | Lüfter | Nein |
| | Lüfterabdeckung | Nein |
| | Wasserpumpe | Ja ([e]) |
| | Thermostat | Ja ([f]) |
| 7 | Luftkühlung | |
| | Luftleiteinrichtung | Nein ([g]) |
| | Lüfter oder Gebläse | Nein ([g]) |
| | Einrichtung zur Temperaturregelung | Nein |

▼B

| Anzahl | Ausrüstungsteile und Hilfseinrichtungen | Für Emissionsprüfung angebaut |
|---|---|---|
| 8 | Einrichtung zur Aufladung | |
| | | Ja |
| | Ladeluftkühler | Ja (g) (h) |
| | Kühlmittelpumpe oder Kühlgebläse (motorgetrieben) | Nein (g) |
| | Kühlmittel-Durchsatzregler | Ja |
| 9 | Hilfsgebläse am Prüfstand | Ja, falls notwendig |
| 10 | Einrichtung zur Abgasreinigung | Ja |
| 11 | Anlasssystem | Ja, oder Prüfstand-ausstattung (i) |
| 12 | Schmierölpumpe | Ja |
| 13 | Bestimmte Hilfseinrichtungen, deren Definition im Zusammenhang mit dem Betrieb der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine oder des mobilen Gerätes steht und die möglicherweise am Motor angebracht sind, sind für die Prüfung zu entfernen.<br>Dazu gehören beispielsweise:<br>i) Kompressor für Bremsanlagen<br>ii) Servolenkungskompressor<br>iii) Kompressor für die Federung<br>iv) Klimaanlage | Nein |

(a) Das vollständige Ansaugsystem ist so anzubauen, wie es für die beabsichtigte Verwendung vorgesehen ist:
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; dann ist jedoch darauf zu achten, dass der Ansaugdruck um nicht mehr als 100 Pa von dem oberen vom Hersteller für einen sauberen Luftfilter angegebenen Grenzwert abweicht.

(b) Die vollständige Abgasanlage ist entsprechend der vorgesehenen Verwendung einzubauen:
i) wenn eine erhebliche Auswirkung auf die Motorleistung zu befürchten ist,
ii) wenn der Hersteller darum ersucht.
In anderen Fällen kann eine gleichwertige Anlage angebaut werden, sofern der gemessene Druck um nicht mehr als 1 000 Pa von dem vom Hersteller angegebenen oberen Grenzwert abweicht.

(c) Wenn der Motor über eine Staudruckbremse verfügt, ist deren Klappe in vollständig geöffneter Stellung zu fixieren.

(d) Der Kraftstoffförderdruck darf erforderlichenfalls nachgeregelt werden, um die bei dem betreffenden Verwendungszweck vorhandenen Drücke zu reproduzieren (insbesondere, wenn ein System mit Kraftstoffrückführung verwendet wird).

(e) Der Kühlflüssigkeitsumlauf darf nur mithilfe der Wasserpumpe des Motors erfolgen. 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) 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.

(i) Die Leistung für elektrische oder sonstige Anlasssysteme ist durch den Prüfstand bereitzustellen.

▼B

*Anlage 3*

**Überprüfung der Drehmomentsignal-Sendefunktion des elektronischen Steuergeräts**

1. **Einleitung**

Die Anlage enthält die Vorschriften für die Überprüfung für den Fall, dass der Hersteller beabsichtigt, bei entsprechend ausgerüsteten Motoren die Drehmoment-Sendefunktion des elektronischen Steuergeräts im Rahmen von Überwachungsprüfungen im Betrieb gemäß der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 zu nutzen.

Die Grundlage für das Nutzdrehmoment sind das unkorrigierte Nutzdrehmoment des Motors einschließlich der Ausrüstungen und Hilfseinrichtungen, die für die Emissionsprüfung gemäß Anlage 2 einzubeziehen sind.

2. **Drehmomentsignal des elektronischen Steuergeräts**

Es ist dafür zu sorgen, dass das Drehmomentsignal, das vom elektronischen Steuergerät des zur Erstellung der Motorabbildungskurve auf dem Prüfstand installierten Motors ausgesendet wird, entsprechend den Anforderungen von Anhang I Anlage 6 der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 gelesen werden kann.

3. **Überprüfungsverfahren**

Bei der Durchführung des Abbildungsverfahrens nach Nummer 7.6.2 dieses Anhangs sind die vom Prüfstand gemessenen Drehmomentwerte und das Drehmomentsignal der elektronischen Steuereinheit gleichzeitig an mindestens 3 Punkten der Drehmomentkurve abzulesen. Mindestens eine der Ablesungen muss an einem Punkt der Kurve erfolgen, an dem das Drehmoment mindestens 98 % des Höchstwertes beträgt.

Das Drehmomentsignal des elektronischen Steuergeräts ist ohne Korrektur zu akzeptieren, wenn an jedem Punkt, an dem Messungen durchgeführt werden, der durch Division des Prüfstand-Drehmomentwerts durch den Drehmomentwert des elektronischen Steuergerätes ermittelte Faktor mindestens 0,93 (das bedeutet eine Abweichung um 7 %) beträgt. In diesem Fall ist im Typgenehmigungsbogen zu vermerken, dass das Drehmomentsignal des elektronischen Steuerungsgeräts ohne Korrektur überprüft wurde. Beträgt der Faktor an einem oder mehreren Prüfpunkten weniger als 0,93, ist der durchschnittliche Korrekturfaktor aller Punkte, an denen Ablesungen erfolgt sind, zu ermitteln und im Typgenehmigungsbogen zu vermerken. Ist im Typgenehmigungsbogen ein Faktor angegeben, ist dieser auf das Drehmomentsignal des elektronischen Steuergeräts anzuwenden, wenn Emissionsprüfungen im Betrieb gemäß der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 durchgeführt werden.

▼B

*Anlage 4*

**Verfahren zur Messung von Ammoniak**

1. Nachfolgend ist das Verfahren zur Messung von Ammoniak ($NH_3$) beschrieben. Bei nichtlinearen Analysatoren ist die Verwendung von Linearisierungsschaltkreisen zulässig.

2. Drei Messprinzipien sind für die $NH_3$-Messung spezifiziert und jedes Prinzip kann angewendet werden, sofern es die unter den Nummern 2.1, 2.2 bzw. 2.3 angegebenen Kriterien erfüllt. Gastrockner sind für die $NH_3$-Messung nicht zulässig.

2.1. FTIR-Analysator (FTIR — Fourier Transform Infrarot)

2.1.1. Messgrundsatz

Das FTIR verwendet das Prinzip der Infrarotspektroskopie im breiten Wellenbereich. Er ermöglicht die simultane Messung von Bauteilen des Auspuffsystems, deren genormte Spektren in dem Instrument verfügbar sind. Das Absorptionsspektrum (Intensität/Wellenlänge) wird aus dem gemessenen Interferogramm (Intensität/Zeit) mittels der Fourier-Transform-Methode errechnet.

2.1.2. Einbau und Probenahme

Das FTIR ist entsprechend den Anweisungen des Geräteherstellers anzubringen. Für die Bewertung ist die $NH_3$-Wellenlänge auszuwählen. Der Probenweg (Probenahmeleitung, Vorfilter und Ventile) muss aus rostfreiem Stahl oder Polytetrafluorethylen (PTFE) bestehen und auf Werte zwischen 383 K (110 °C) und 464 K (191 °C) aufgeheizt werden, um $NH_3$-Verluste und Probenahmeartefakte zu minimieren. Des Weiteren muss die Probenahmeleitung so kurz wie möglich sein.

2.1.3. Kreuzinterferenz

Die spektrale Auflösung der $NH_3$-Wellenlänge muss innerhalb von 0,5 $cm^{-1}$ liegen, um die Kreuzinterferenz von anderen in den Abgasen vorhandenen Gasen zu minimieren.

2.2. Nichtdispersiver Ultraviolett-Resonanzabsorptionsanalysator (im Folgenden „NDUV“)

2.2.1. Messgrundsatz

Der NDUV beruht auf einem rein physikalischen Prinzip, es sind keinerlei Hilfsgase und keinerlei Ausrüstung erforderlich. Das wichtigste Element des Fotometers ist eine elektrodenlose Entladungslampe. Sie erzeugt eine hochaufgelöste Strahlung im Ultraviolettbereich, welche die Messung verschiedener Bestandteile wie $NH_3$ ermöglicht.

In dem fotometrischen System wird die Strahlung in einem Strahlenteiler in einen Mess- und einen Referenzpfad gesplittet (zeitlich differenzierter Doppelstrahl, dual beam in time design).

Um eine hohe Stabilität des Messsignals zu erreichen, ist der zeitlich differenzierte Doppelstrahl mit einem räumlich differenzierten Doppelstrahl (dual beam in space) kombiniert. Durch die Verarbeitung der Signale wird dafür gesorgt, dass die Nullpunktdrift praktisch zu vernachlässigen ist.

Im Kalibriermodus des Analysators wird, um einen genauen Kalibrierwert zu erzielen, eine abgedichtete Quarzküvette in den Strahlengang geneigt, da alle Reflexionen und Absorptionsverluste der Küvettenfenster kompensiert werden. Da die Gasfüllung der Küvette sehr stabil ist, führt diese Kalibriermethode zu einer sehr hohen Langzeitstabilität des Fotometers.

▼B

2.2.2. Einbau

Der Analysator ist in einem Analysenschrank, der die extraktive Probenahme gemäß den Vorschriften des Geräteherstellers nutzt, anzubringen. Die Anbringungsstelle des Analysators muss das vom Hersteller spezifizierte Gewicht tragen können.

Der Probenweg (Probenahmeleitung, Vorfilter und Ventile) muss aus rostfreiem Stahl oder Polytetrafluorethylen (PTFE) bestehen und auf Werte zwischen 383 K (110 °C) und 464 K (191 °C) aufgeheizt werden.

Des Weiteren muss die Probenahmeleitung so kurz wie möglich sein. Beeinträchtigungen der Messung durch Abgastemperatur und -druck, Umgebung der Anbringung und Erschütterungen sind zu minimieren.

Der Gasanalysator ist vor Kälte, Wärme, Temperaturschwankungen, starken Luftströmungen, Staubansammlungen, korrosiver Atmosphäre und Erschütterungen zu schützen. Um ein Aufheizen zu verhindern, ist für ausreichende Luftzirkulation zu sorgen. Zur Wärmeableitung ist die gesamte Oberfläche zu nutzen.

2.2.3. Querempfindlichkeit

Um Querempfindlichkeiten von Begleitgasen möglichst gering zu halten, ist ein geeigneter Spektralbereich zu wählen. Typische Bestandteile, die bei der $NH_3$-Messung zu Querempfindlichkeiten führen, sind $SO_2$, $NO_2$ und NO.

Zusätzlich können weitere Methoden zur Verringerung von Querempfindlichkeiten angewandt werden.

a) Einsatz von Interferenzfiltern

b) Ausgleich von Querempfindlichkeiten durch Messung von Querempfindlichkeiten verursachenden Bestandteilen und Nutzung des Messsignals zur Kompensierung

2.3. Laser-Infrarot-Analysator

2.3.1. Messgrundsatz

Ein Infrarotlaser, etwa eine abstimmbare Laserdiode oder ein Quantenkaskadenlaser (QCL) kann im nahen bzw. mittleren Infrarotbereich, in dem Stickstoffverbindungen einschließlich $NH_3$ stark absorbieren, kohärentes Licht abstrahlen Diese Laseroptiken können im Pulsbetrieb ein hochauflösendes schmalbandiges Spektrum im nahen oder mittleren Infrarotbereich abstrahlen. Laser-Infrarot-Analysatoren können daher Interferenzen reduzieren, die durch die Überschneidung der Absorptionsspektren von gleichzeitig im Motorabgas vorkommenden Gasen hervorgerufen werden.

2.3.2. Einbau

Der Analysator ist entweder direkt im Auspuffrohr (in situ) anzubringen oder in einem Analysenschrank, der die extraktive Probenahme gemäß den Vorschriften des Geräteherstellers nutzt. Bei Einbau in einen Analysenschrank muss der Probenweg (Probenahmeleitung, Vorfilter und Ventile) aus rostfreiem Stahl oder Polytetrafluorethylen (PTFE) bestehen und auf Werte zwischen 383 K (110 °°) und 464 K (191 °C) aufgeheizt werden, um $NH_3$-Verluste und Probenahmefehler zu minimieren. Des Weiteren muss die Probenahmeleitung so kurz wie möglich sein.

Beeinträchtigungen der Messung durch Abgastemperatur und -druck, Umgebung der Anbringung und Erschütterungen sind zu minimieren; oder es müssen Kompensationstechniken angewendet werden.

▼B

Gegebenenfalls darf partikelfreie Luft, die im Zusammenhang mit der in-situ-Messung zum Schutz des Instruments verwendet wird, nicht die Konzentration jeglicher Abgasbestandteile, die nach dem Gerät gemessen werden, beeinträchtigen; ansonsten muss die Probenahme anderer Abgasbestandteile vor dem Gerät stattfinden.

2.3.3. Kontrolle der Querempfindlichkeit für Laser-Infrarot-$NH_3$-Analysatoren

2.3.3.1. Umfang und Häufigkeit

Wird $NH_3$ mithilfe eines Laser-Infrarot-Analysators gemessen, muss die Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

2.3.3.2. Messgrundsätze für die Überprüfung der Querempfindlichkeit

Querempfindlichkeitsgase können den Betrieb bestimmter Laser-Infrarot-Analysatoren stören, in dem sie ein Ansprechverhalten wie bei $NH_3$ hervorrufen. Wenn der 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.

Die Interferenzgase für Laser-Infrarot-Analysatoren sind nach bestem fachlichen Ermessen zu bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass die Art der Querempfindlichkeit außer bei $H_2O$ von der vom Gerätehersteller gewählten $NH_3$-Infrarot-Absorptionsbande abhängig ist. Für jeden Analysator ist die $NH_3$-Infrarot-Absorptionsbande zu bestimmen. Für jede $HN_3$-Infrarot-Absorptionsbande ist nach bestem fachlichen Ermessen zu bestimmen, welche Querempfindlichkeitsgase bei der Überprüfung zu verwenden sind.

3. Emissionsprüfverfahren

3.1. Überprüfung der Analysatoren

Vor der Emissionsprüfung müssen die Arbeitsbereiche der Analysatoren eingestellt werden. Es sind Emissionsanalysatoren mit automatischer oder manueller Bereichsumschaltung zulässig. Während eines Prüfzyklus darf der Bereich der Emissionsanalysatoren nicht umgeschaltet werden.

Das Nullgas- und Kalibriergasansprechen muss festgestellt werden, wenn die Vorschriften von Nummer 3.4.2 nicht für das Instrument gelten. Für das Justiergasansprechen ist ein $NH_3$-Gas, das den Spezifikationen von Nummer 4.2.7 entspricht, zu verwenden. Die Verwendung von Bezugszellen, die $NH_3$-Justiergase enthalten, ist zulässig.

3.2. Erfassung emissionsrelevanter Daten

Mit Beginn der Prüffolge ist gleichzeitig die $NH_3$-Datenerfassung zu beginnen. Die $NH_3$-Konzentration ist kontinuierlich zu messen und mit mindestens 1 Hz in einem Computersystem zu speichern.

3.3. Arbeitsgänge im Anschluss an die Prüfung

Nach Abschluss der Prüfung ist die Probenahme fortzusetzen, bis die Systemansprechzeiten abgelaufen sind. Die Bestimmung der Drift der Analysatoren gemäß Nummer 3.4.1 ist nur dann erforderlich, wenn die Informationen in Abschnitt 3.4.2 nicht verfügbar sind.

3.4. Analysator-Drift

3.4.1. So bald wie möglich, aber nicht später als 30 Minuten, nachdem der Prüfzyklus abgeschlossen wurde, oder während der Abstellphase, sind das Nullgas- und das Kalibriergasansprechen des Analysators zu bestimmen. Die Driftdifferenz zwischen den Messergebnissen vor und nach der Prüfung muss unter 2 % vom Skalenendwert liegen.

▼B

3.4.2. Die Bestimmung der Analysator-Drift ist in den folgenden Situationen nicht erforderlich:

a) Wenn die vom Gerätehersteller in den Nummern 4.2.3 und 4.2.4 angegebene Nullpunktdrift und Messbereichsdrift den Anforderungen in Nummer 3.4.1 entspricht;

b) wenn das Zeitintervall der vom Gerätehersteller in den Nummern 4.2.3 und 4.2.4 angegebenen Nullpunktdrift und Messbereichsdrift die Dauer der Prüfung überschreitet.

4. Spezifikationen der Analysatoren und Überprüfung

4.1. Linearitätsanforderungen

Der Analysator muss den in Tabelle 6.5 dieses Anhangs angegebenen Linearitätsanforderungen entsprechen. Die Linearitätsprüfung gemäß Nummer 8.1.4 dieses Anhangs ist mindestens bei der Minimalfrequenz nach Tabelle 6.4 dieses Anhangs durchzuführen. Mit vorheriger Zustimmung der Genehmigungsbehörde sind weniger als 10 Referenzpunkte zulässig, wenn eine gleiche Genauigkeit nachgewiesen werden kann.

Für die Linearitätsprüfung ist ein $NH_3$-Gas, das den Spezifikationen von Nummer 4.2.7 entspricht, zu verwenden. Die Verwendung von Bezugszellen, die $NH_3$-Justiergase enthalten, ist zulässig.

Geräte, deren Signale für Kompensierungsalgorithmen verwendet werden, müssen den Linearitätsanforderungen entsprechen, die in Tabelle 6.5 dieses Anhangs angegeben sind. Die Linearität ist in den Abständen zu prüfen, die in hausinternen Audit-Verfahren, vom Gerätehersteller oder in Normen der ISO 9000-Reihe festgelegt sind.

4.2. Spezifikationen zu den Analysatoren

Messbereich und Ansprechzeit der Analysegeräte müssen den Genauigkeitsanforderungen für die Messung der $NH_3$-Konzentrationen im dynamischen und stationären Betrieb entsprechen.

4.2.1. Minimale Nachweisgrenze

Der Analysator muss unter allen Prüfbedingungen eine minimale Nachweisgrenze von < 2 ppm haben.

4.2.2. Genauigkeit

Die Genauigkeit, definiert als die Abweichung des abgelesenen Messwertes vom Bezugswert, darf ± 3 % vom Ablesewert oder ± 2 ppm nicht überschreiten; es gilt der jeweils größere Wert.

4.2.3. Nullpunktdrift

Die Drift des Ansprechens auf das Nullgas und das entsprechende Zeitintervall müssen vom Hersteller des Messgeräts spezifiziert werden.

4.2.4. Messbereichsdrift

Die Drift des Ansprechens auf das Justiergas und das entsprechende Zeitintervall müssen vom Hersteller des Messgeräts spezifiziert werden.

4.2.5. Systemansprechzeit

Die Systemansprechzeit darf ≤ 20 s sein.

4.2.6. Anstiegzeit

Die Anstiegzeit des Analysegeräts darf ≤ 5 s sein.

4.2.7. $NH_3$-Kalibriergas

Das Gasgemisch mit folgender chemischer Zusammensetzung muss verfügbar sein.

$NH_3$ und gereinigter Stickstoff.

▼B

Die tatsächliche Konzentration des Kalibriergases darf um höchstens ± 3 % vom Nennwert abweichen. Die $NH_3$-Konzentration ist als Volumenanteil auszudrücken (Volumenprozent oder ppm als Volumenanteil).

Das vom Hersteller angegebene Verfallsdatum der Kalibriergase ist aufzuzeichnen.

4.2.8. Querempfindlichkeits-Prüfverfahren

Die Überprüfung der Querempfindlichkeit ist folgendermaßen durchzuführen:

a) Der $NH_3$-Analysator ist wie bei einer Emissionsprüfung einzuschalten, zu betreiben, zu nullen und zu justieren.

b) Ein befeuchtetes Querempfindlichkeits-Prüfgas wird erzeugt, indem ein aus mehreren Bestandteilen zusammengesetztes Justiergas durch ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet wird. Wird die Probe nicht durch einen Probentrockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein $H_2O$-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der während der Emissionsprüfung erwartete Höchstwert. Die Konzentration des Querempfindlichkeits-Justiergases muss mindestens so hoch sein wie der während der Prüfung erwartete Höchstwert.

c) Das befeuchtete Querempfindlichkeits-Prüfgas wird in das Probenahmesystem eingeleitet.

d) Die Wassermolfraktion $x_{H2O}$ des befeuchteten Querempfindlichkeits-Prüfgases wird so nahe wie möglich am Eintritt des Analysators gemessen. Beispielsweise sind zur Berechnung von $x_{H2O}$ 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 $x_{H2O}$ 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 lang 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 dieser Nummer entspricht.

i) Querempfindlichkeitsprüfungen für einzelne Querempfindlichkeitsgase können auch getrennt durchgeführt werden. Falls die verwendeten Querempfindlichkeitsgas-Pegel größer sind als die während der Prüfung erwarteten Höchstwerte, kann jede beobachtete Querempfindlichkeit heruntergerechnet werden, und zwar durch Multiplikation des beobachteten Werts mit dem Verhältnis zwischen dem erwarteten Höchstwert der Konzentration und dem bei dieser Prüfung verwendeten tatsächlichen Wert. Separate Querempfindlichkeitsprüfungen mit $H_2O$-Konzentrationen, die geringer sind als die bei der Prüfung erwarteten Höchstwerte (abgesenkt auf bis zu 0,025 mol/mol $H_2O$-Gehalt) dürfen verwendet werden, die beobachtete $H_2O$-Querempfindlichkeit ist jedoch hochzurechnen, und zwar durch Multiplikation des beobachteten Werts mit dem Verhältnis zwischen dem erwarteten Höchstwert der $H_2O$-Konzentration zu dem bei dieser Prüfung verwendeten tatsächlichen Wert. Die Summe der hoch- oder heruntergerechneten Querempfindlichkeitswerte muss innerhalb der unter Buchstabe j dieser Nummer spezifizierten Toleranzen für kombinierte Querempfindlichkeiten liegen.

▼B

j) Die kombinierte Querempfindlichkeit des Analysators muss innerhalb von ± 2 % der nach dem Durchsatz gewichteten mittleren $NH_3$-Konzentration entsprechen, die am Emissionsgrenzwert erwartet wird.

5. Alternative Systeme

Andere Systeme oder Analysatoren können von der Genehmigungsbehörde zugelassen werden, wenn mit ihnen erwiesenermaßen gleichwertige Ergebnisse gemäß Nummer 5.1.1 dieses Anhangs erzielt werden. In diesem Fall ist in dieser Nummer mit „Ergebnis“ die für den anwendbaren Zyklus berechnete mittlere $NH_3$-Konzentration gemeint.

▼B

*Anlage 5*

**Beschreibung des Systemansprechverhaltens**

1. Diese Anlage enthält die Bezeichnung der Zeiten, die bei der Beschreibung des Ansprechverhaltens von Analysesystemen und sonstigen Messsystemen auf ein Eingangssignal bedeutsam sind.

2. Es werden folgende Zeiten gemäß Abbildung 6-11 unterschieden:

2.1. Die Ansprechverzögerung ist der Zeitunterschied zwischen der Änderung der am Bezugspunkt zu messenden Komponente und dem Systemansprechen von 10 % der Endablesung ($t_{10}$), wobei die Probenahmesonde als Bezugspunkt gilt.

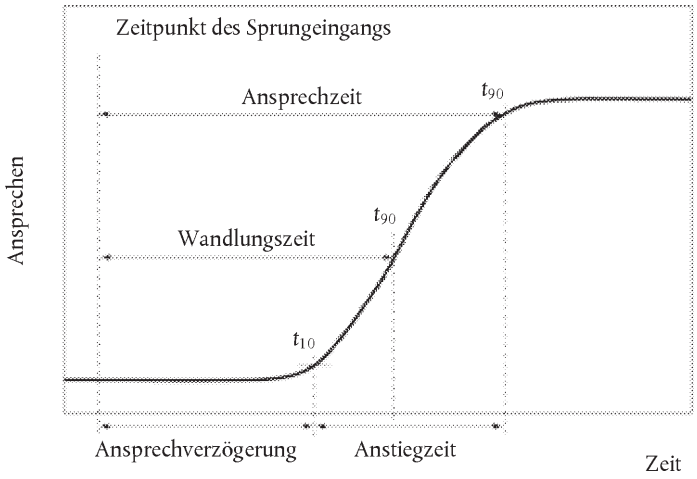
2.2. Die Ansprechzeit ist der Zeitunterschied zwischen der Änderung der am Bezugspunkt zu messenden Komponente und dem Systemansprechen von 90 % der Endablesung ($t_{90}$), wobei die Probenahmesonde als Bezugspunkt gilt.

2.3. Die Anstiegzeit ist die Zeit für den Anstieg des angezeigten Messwertes von 10 % auf 90 % des Endwertes ($t_{90} - t_{10}$).

2.4. Die Wandlungszeit ist der Zeitunterschied zwischen der Änderung der am Bezugspunkt zu messenden Komponente und dem Systemansprechen von 50 % der Endablesung ($t_{50}$), wobei die Probenahmesonde als Bezugspunkt gilt.

*Abbildung 6-11*

**Darstellung des Systemansprechverhaltens**



▼B

*ANHANG VII*

**Methoden für die Datenauswertung und für Berechnungen**

1. **Allgemeine Anforderungen**

Die Berechnung der Emissionen wird entweder gemäß Abschnitt 2 (massenbasierte Berechnungen) oder Abschnitt 3 (molbasierte Berechnungen) durchgeführt. Eine Mischung der beiden Methoden ist nicht erlaubt. Es ist nicht erforderlich, die Berechnungen sowohl nach Abschnitt 2 als auch nach Abschnitt 3 durchzuführen.

Die besonderen Anforderungen für die Partikelzahlmessung sind, sofern sie gelten, in Anlage 5 festgelegt.

1.1. Allgemeine Symbole

| Abschnitt 2 | Abschnitt 3 | Einheit | Messgröße |
|---|---|---|---|
| | $A$ | $m^2$ | Fläche |
| | $A_t$ | $m^2$ | Querschnitt der Venturieinschnürung |
| $b$, $D_0$ | $a_0$ | n.f. ([3]) | $y$-Achsabschnitt der Regressionsgeraden |
| $A/F_{st}$ | | — | stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis |
| | $C$ | — | Koeffizient |
| $C_d$ | $C_d$ | — | Durchflusskoeffizient |
| | $C_f$ | — | Durchsatzkoeffizient |
| $c$ | $x$ | ppm, Vol.-% | Konzentration/Molfraktion (µmol/mol = ppm) |
| $c_d$ | ([1]) | ppm, Vol.-% | Konzentration im trockenen Bezugszustand |
| $c_w$ | ([1]) | ppm, Vol.-% | Konzentration im feuchten 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 | bremsspezifische Basis |
| $e_{gas}$ | $e_{gas}$ | g/kWh | spezifische Emission gasförmiger Bestandteile |
| $e_{PM}$ | $e_{PM}$ | g/kWh | spezifische Partikelemissionen |
| $E$ | $1 - PF$ | % | Umwandlungseffizienz ($PF$ = Durchlassanteil) |
| $F_s$ | | — | stöchiometrischer Faktor |
| | $f$ | Hz | Frequenz |
| $f_c$ | | — | Kohlenstofffaktor |
| | $\gamma$ | — | spezifisches Wärmeverhältnis |
| $H$ | | g/kg | absolute Feuchtigkeit |
| | K | — | Korrekturfaktor |

▼B

| Abschnitt 2 | Abschnitt 3 | Einheit | Messgröße |
|---|---|---|---|
| $K_V$ | | $[(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s)/kg]$ | CFV-Kalibrierfunktion |
| $k_f$ | | $m^3$/kg Kraftstoff | kraftstoffspezifischer Faktor |
| $k_h$ | | — | Feuchtigkeitskorrekturfaktor für $NO_x$, Dieselmotoren |
| $k_{Dr}$ | $k_{Dr}$ | — | abwärtswirksamer Anpassungsfaktor |
| $k_r$ | $k_r$ | — | multiplikativer Regenerierungsfaktor |
| $k_{Ur}$ | $k_{Ur}$ | — | aufwärtswirksamer Anpassungsfaktor |
| $k_{w,a}$ | | — | Korrekturfaktor für die Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand der Ansaugluft |
| $k_{w,d}$ | | — | Korrekturfaktor für die 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 die Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand des Rohabgases |
| $\mu$ | $\mu$ | kg/(m·s) | dynamische Viskosität |
| $M$ | $M$ | g/mol | Molmasse ([3]) |
| $M_a$ | ([1]) | g/mol | Molmasse der Ansaugluft |
| $M_e$ | v | g/mol | Molmasse des Abgases |
| $M_{gas}$ | $M_{gas}$ | g/mol | Molmasse der gasförmigen Bestandteile |
| $m$ | $M$ | kg | Masse |
| m | $a_1$ | n.f. ([3]) | Steigung der Regressionsgeraden |
| | $N$ | $m^2/s$ | kinematische Viskosität |
| $m_d$ | v | 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 verdünnten Abgases über einen Prüfzyklus |
| $m_f$ | ([1]) | mg | abgeschiedene Partikelmasse |
| $m_{f,d}$ | ([1]) | mg | abgeschiedene Partikelmasse der Verdünnungsluft |
| $m_{gas}$ | $m_{gas}$ | 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 |

▼B

| Abschnitt 2 | Abschnitt 3 | Einheit | Messgröße |
|---|---|---|---|
| $m_{sep}$ | (1) | kg | Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt |
| $m_{ssd}$ | | kg | Masse der Sekundärverdünnungsluft |
| | N | — | Gesamtanzahl einer Reihe |
| | n | mol | Stoffmenge |
| | $\dot{n}$ | mol/s | Stoffdurchsatz |
| n | $f_n$ | $min^{-1}$ | Motordrehzahl |
| $n_p$ | | r/s | PDP-Pumpendrehzahl |
| P | P | kW | Leistung |
| p | p | kPa | Druck |
| $p_a$ | | kPa | trockener atmosphärischer Druck |
| $p_b$ | | kPa | atmosphärischer Gesamtdruck |
| $p_d$ | | kPa | Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft |
| $p_p$ | $p_{abs}$ | kPa | absoluter Druck |
| $p_r$ | $p_{H2O}$ | kPa | Wasserdampfdruck |
| $p_s$ | | kPa | trockener atmosphärischer Druck |
| $1 - E$ | PF | % | Durchlassanteil |
| q$m$ | $\dot{m}$ | kg/s | Massendurchsatz |
| $q_{mad}$ | $\dot{m}$ (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 Teilstrom-Verdünnungssystem |
| $q_{mdew}$ | (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 |
| $q_{mf}$ | (1) | kg/s | Massendurchsatz des Kraftstoffs |
| $q_{mp}$ | (1) | kg/s | Abgasprobendurchsatz am Eintritt des Teilstrom-Verdünnungssystems |
| $q_V$ | $\dot{V}$ | $m^3/s$ | Volumendurchsatz |
| $q_{VCVS}$ | (1) | $m^3/s$ | CVS-Volumendurchsatz |

▼B

| Abschnitt 2 | Abschnitt 3 | Einheit | Messgröße |
|---|---|---|---|
| $q_{Vs}$ | (1) | $dm^3/min$ | Systemdurchsatz des Abgas-Analysatorsystems |
| $q_{Vt}$ | (1) | $cm^3/min$ | Durchsatz des Spürgases |
| $\rho$ | $\rho$ | $kg/m^3$ | Massendichte |
| $\rho_e$ | | $kg/m^3$ | Abgasdichte |
| | $R$ | — | Druckverhältnis |
| $r_d$ | $DR$ | — | Verdünnungsverhältnis[2] |
| | $Ra$ | µm | Durchschnittliche Rauheit der Oberfläche |
| $RH$ | | % | relative Feuchtigkeit |
| $r_D$ | β | m/m | Durchmesserverhältnis (CVS-Systeme) |
| $r_p$ | | — | Druckverhältnis des SSV |
| $Re$ | $Re^{\#}$ | — | Reynolds-Zahl |
| | $S$ | K | Sutherland-Konstante |
| $s$ | $s$ | — | Standardabweichung |
| $T$ | $T$ | °C | Temperatur |
| | $T$ | Nm | Motordrehmoment |
| $T_a$ | | K | absolute Temperatur |
| $t$ | $t$ | S | Zeit |
| $\Delta t$ | $\Delta t$ | S | Zeitintervall |
| $u$ | | — | Verhältnis Dichte der Gasbestandteile/Abgasdichte |
| $V$ | $V$ | $m^3$ | 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 |
| $w$ | $w$ | g/g | Massenfraktion |
| | $\bar{x}$ | mol/mol | nach Durchsatz gewichtete mittlere Konzentration |
| $X_0$ | $K_s$ | s/rev | PDP-Kalibrierfunktion |
| | $y$ | — | generische Variable |
| $\bar{y}$ | $\bar{y}$ | | arithmetisches Mittel |
| | Z | — | Kompressibilitätsfaktor |

(1) Siehe tiefgestellte Indizes, z. B.: $\dot{m}$ für Trockenluft-Massendurchsatz, $\dot{m}$ für Kraftstoff-Massendurchsatz usw.
(2) Verdünnungsverhältnis $r_d$ in Abschnitt 2 und $DR$ in Abschnitt 3: unterschiedliche Symbole bei gleicher Bedeutung und identischen Gleichungen. Verdünnungsfaktor $D$ in Abschnitt 2 und $x_{dil}$ in Abschnitt 3: unterschiedliche Symbole bei gleicher physikalischer Bedeutung; Gleichung 7-124 bildet die Beziehung zwischen $x_{dil}$ und $DR$ ab.
(3) n.f. = noch festzulegen.

▼B

1.2. Tiefgestellte Indizes

| Abschnitt 2 ([1]) | Abschnitt 3 | Messgröße |
|---|---|---|
| act | act | tatsächliche Größe |
| *i* | | momentanes Messergebnis (z. B. 1 Hz) |
| | *i* | Einzelwert einer Reihe |

([1]) In Abschnitt 2 wird die Bedeutung tiefgestellter Indizes durch die zugehörige Messgröße bestimmt; beispielsweise kann der tiefgestellte Index „d“ in „$c_d$ = Konzentration im trockenen 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.

1.3. Symbole und Abkürzungen für die chemischen Bestandteile (auch als tiefgestellte Indizes verwendet)

| Abschnitt 2 | Abschnitt 3 | Messgröße |
|---|---|---|
| Ar | Ar | Argon |
| C1 | C1 | C1-äquivalenter Kohlenwasserstoff |
| $CH_4$ | $CH_4$ | Methan |
| $C_2H_6$ | $C_2H_6$ | Ethan |
| $C_3H_8$ | $C_3H_8$ | Propan |
| CO | CO | Kohlenmonoxid |
| $CO_2$ | $CO_2$ | Kohlendioxid |
| | H | atomarer Wasserstoff |
| | $H_2$ | molekularer Wasserstoff |
| HC | HC | Kohlenwasserstoff |
| $H_2O$ | $H_2O$ | Wasser |
| | He | Helium |
| | N | atomarer Stickstoff |
| | $N_2$ | molekularer Stickstoff |
| $NO_x$ | $NO_x$ | Stickoxide |
| NO | NO | Stickstoffmonoxid |
| $NO_2$ | $NO_2$ | Stickstoffdioxid |
| | O | atomarer Sauerstoff |
| PM | PM | Partikel |
| S | S | Schwefel |

▼B

1.4. Symbole und Abkürzungen für die Kraftstoffzusammensetzung

| Abschnitt 2 (1) | Abschnitt 3 (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] |
| $\alpha$ | $\alpha$ | Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (H/C) |
| $\varepsilon$ | $\beta$ | Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (O/C) (3) |
| $\gamma$ | $\gamma$ | Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis (S/C) |
| $\delta$ | $\delta$ | Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (N/C) |

(1) Bezogen auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$.
(2) Bezogen auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$.
(3) Besonderes Augenmerk ist auf die unterschiedlichen Bedeutungen des Symbols β in den beiden Abschnitten zur Emissionsberechnung zu legen: In Abschnitt 2 ist damit ein Kraftstoff mit der chemische Formel $CH_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ (d. h. der Formel $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ wobei $\beta = 1$, wenn von einem Kohlenstoffatom pro Molekül ausgegangen wird) gemeint, in Abschnitt 3 bei $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$ hingegen das Sauerstoff-Kohlenstoff-Verhältnis. Unter diesen Umständen entspricht $\beta$ in Abschnitt 3 $\varepsilon$ in Abschnitt 2.
(4) Massenfraktion $w$ in Verbindung mit dem tiefgestellten Symbol des chemischen Bestandteils.

2. **Massenbasierte Emissionsberechnungen**

2.1. Emissionen von Rohabgas

2.1.1. Einzelphasen-NRSC-Prüfungen

Der Emissionswert einer gasförmigen Emission $q_{mgas,i}$ [g/h] für jede Prüfphase $i$ der stationären Prüfung ist durch Multiplikation der gasförmigen Emissionen mit ihrem jeweiligen Durchsatz wie folgt zu berechnen.

$$q_{mgas,i} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot k_{mew,i} \cdot c_{gas,i} \cdot 3\,600 \qquad (7\text{-}1)$$

Dabei gilt:

$k$ = 1 für $c_{gasr,w,i}$ in [ppm] und $k$ = 10 000 für $c_{gasr,w,i}$ in [Vol.-%]

$k_h$ = $NO_x$-Korrekturfaktor [-], für die $NO_x$-Emissionsberechnung (siehe Nummer 2.1.4)

$u_{gas}$ = abgasbestandteilspezifischer Faktor oder Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und des Abgases [-]

$q_{mew,i}$ = Massendurchsatz des Abgases in der Prüfphase $i$, feucht [kg/s]

$c_{gas,i}$ = Emissionskonzentration im Rohabgas in der Prüfphase $i$, feucht [ppm] oder [Vol.- %]

▼B

2.1.2. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC-Prüfungen

Die Gesamtmasse einer gasförmigen Emission $m_{gas}$ [g/test] je Prüfung ist durch Multiplikation der zeitlich angeglichenen momentanen Konzentrationen und mit den Abgasdurchsätzen und durch Integration über den Prüfzyklus mithilfe von Gleichung 7-2 zu berechnen:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} (q_{mew,i} \cdot c_{gas,i}) \quad (7\text{-}2)$$

Dabei gilt:

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

$k_h$ = $NO_x$-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die $NO_x$-Emissionsberechnung

$k$ = 1 für $c_{gasr,w,i}$ in [ppm] und $k$ = 10 000 für $c_{gasr,w,i}$ in [Vol.- %]

$u_{gas}$ = abgasbestandteilspezifischer Faktor [-] (siehe Nummer 2.1.5)

$N$ = Zahl der Messungen [-]

$q_{mew,i}$ = momentaner Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

$c_{gas,i}$ = momentane Emissionskonzentration im Rohabgas, feucht [ppm] oder [Vol.- %]

2.1.3. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Werden die Emissionen im feuchten Bezugszustand gemessen, ist die im trockenen Bezugszustand gemessene Konzentration $c_d$ mithilfe von Gleichung 7-3 in die Konzentration $c_w$ im feuchten Bezugszustand umzurechnen:

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (7\text{-}3)$$

Dabei gilt:

$k_w$ = Faktor für die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand [-]

$c_d$ = Emissionskonzentration, trocken [ppm] oder [Vol.- %]

Bei der vollständigen Verbrennung wird der Faktor für die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand für Rohabgas als $k_{w,a}$ [-] bezeichnet und mithilfe von Gleichung 7-4 berechnet:

$$k_{w,a} = \frac{\left(1 - \frac{1{,}2442 \cdot H_a + 111{,}19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773{,}4 + 1{,}2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1\,000}\right)}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} \quad (7\text{-}4)$$

Dabei gilt:

$H_a$ = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g $H_2O$/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 [$m^3$/kg Kraftstoff]

▼B

Dabei gilt:

$$k_{\,f} = 0{,}055594 \cdot w_H + 0{,}0080021 \cdot w_N + 0{,}0070046 \cdot w_o \qquad (7\text{-}5)$$

Wobei:

$w_H$ = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$w_N$ = Stickstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$w_O$ = Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

In der Gleichung 7-4 kann folgendes Verhältnis $p_r/p_b$angenommen werden:

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} = 1{,}008 \qquad (7\text{-}6)$$

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:

$$k_{\,w,a} = \frac{\frac{1}{1+\alpha \cdot 0{,}005 \cdot (c_{CO2}+c_{CO})} - K_{\,w1}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \qquad (7\text{-}7)$$

Dabei gilt:

$c_{CO2}$ = $CO_2$-Konzentration im Rohabgas, trocken [Vol.- %]

$c_{CO}$ = CO-Konzentration im Rohabgas, trocken [ppm]

$p_r$ = Wasserdruck nach dem Kühler [kPa]

$p_b$ = barometrischer Gesamtdruck [kPa]

$\alpha$ = Kohlenstoff-Wasserstoff-Molverhältnis [-]

$k_{w1}$ = Feuchtigkeit der Ansaugluft [-]

$$k_{\,w1} = \frac{1{,}608 \cdot H_a}{1\,000 + 1{,}608 \cdot H_a} \qquad (7\text{-}8)$$

2.1.4. 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 mithilfe des in den Gleichungen 7-9 und 7-10 angegebenen Faktors $k_{h,D}$ oder $k_{h,G}$ [-] zu korrigieren. Diese Faktoren gelten für einen Feuchtigkeitsbereich von 0 bis 25 g $H_2O$/kg trockener Luft.

a) für Selbstzündungsmotoren

$$k_{\,h,D} = \frac{15{,}698 \times H_a}{1\,000} + 0{,}832 \qquad (7\text{-}9)$$

b) für Fremdzündungsmotoren

$$k_{h,G} = 0{,}6272 + 44{,}030 \times 10^{-3} \times H_a - 0{,}862 \times 10^{-3} \times H_a^{\,2} \qquad (7\text{-}10)$$

Dabei gilt:

$H_a$ = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g $H_2O$/kg trockener Luft]

▼B

2.1.5. Abgasbestandteilspezifischer Faktor u

Für die Berechnung sind in den Nummern 2.1.5.1 und 2.1.5.2 zwei Verfahren beschrieben. Das in Nummer 2.1.5.1 beschriebene Verfahren ist einfacher, weil für das Verhältnis von Bestandteil- und Abgasdichte „u"-Tabellenwerte verwendet werden. Das in Nummer 2.1.5.2 beschriebene Verfahren ist genauer bei Kraftstoffqualitäten, die von den Spezifikationen in Anhang VIII abweichen, erfordert aber eine Elementaranalyse des Kraftstoffs.

2.1.5.1. Tabellenwerte

Unter Anwendung einiger Vereinfachungen (Annahme über den Wert $\lambda$ und über die Bedingungen betreffend die Ansaugluft gemäß Tabelle 7.1) auf die Gleichungen in Nummer 2.1.5.2 werden die resultierenden Werte für $u_{gas}$ in Tabelle 7.1 angegeben.

*Tabelle 7.1*

**u-Werte für das Rohabgas und Dichte der Abgasbestandteile (für die in ppm ausgedrückte Emissionskonzentration)**

| Kraftstoff | $r_e$ | | | Gas | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $NO_x$ | CO | HC | $CO_2$ | $O_2$ | $CH_4$ |
| | | | | $r_{gas}$ [kg/m$^3$] | | | |
| | | 2,053 | 1,250 | ([a]) | 1,9636 | 1,4277 | 0,716 |
| | | | | $u_{gas}$ ([b]) | | | |
| Diesel (nicht für den Straßenverkehr bestimmter Dieselkraftstoff) | 1,2943 | 0,001586 | 0,000966 | 0,000482 | 0,001517 | 0,001103 | 0,000553 |
| Ethanol für bestimmte Selbstzündungsmotoren (ED95) | 1,2768 | 0,001609 | 0,000980 | 0,000780 | 0,001539 | 0,001119 | 0,000561 |
| Erdgas/ Biomethan ([c]) | 1,2661 | 0,001621 | 0,000987 | 0,000528 ([d]) | 0,001551 | 0,001128 | 0,000565 |
| Propan | 1,2805 | 0,001603 | 0,000976 | 0,000512 | 0,001533 | 0,001115 | 0,000559 |
| Butan | 1,2832 | 0,001600 | 0,000974 | 0,000505 | 0,001530 | 0,001113 | 0,000558 |
| LPG ([e]) | 1,2811 | 0,001602 | 0,000976 | 0,000510 | 0,001533 | 0,001115 | 0,000559 |
| Benzin (E10) | 1,2931 | 0,001587 | 0,000966 | 0,000499 | 0,001518 | 0,001104 | 0,000553 |
| Ethanol (E85) | 1,2797 | 0,001604 | 0,000977 | 0,000730 | 0,001534 | 0,001116 | 0,000559 |

([a]) Kraftstoffabhängig.
([b]) Bei $l$ = 2, trockener Luft, 273 K und 101,3 kPa.
([c]) $u$-Werte ± 0,2 % für folgende Massenverteilung: C = 66 – 76 %; H = 22 – 25 %; N = 0 – 12 %.
([d]) NMHC auf der Grundlage von $CH_{2,93}$ (für Gesamt-HC ist der $u_{gas}$–Faktor für $CH_4$ zu verwenden).
([e]) $u$-Werte ± 0,2 % für folgende Massenverteilung: C3 = 70 – 90 %; C4 = 10 – 30 %.

2.1.5.2. Berechnete Werte

Der abgasbestandteilspezifische Faktor $u_{gas,i}$ kann anhand des Verhältnisses zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und des Abgases oder alternativ durch das entsprechende Verhältnis der Molmassen (Gleichungen 7-11 oder 7-12) ermittelt werden:

$$u_{gas,i} = M_{gas} / (M_{e,i} \cdot 1\,000) \qquad (7\text{-}11)$$

oder

▼B

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{\text{e},i} \cdot 1\,000) \qquad (7\text{-}12)$$

Dabei gilt:

$M_{\text{gas}}$ = Molmasse des Abgasbestandteils [g/mol]

$M_{\text{e},i}$ = momentane Molmasse des feuchten Rohabgases [g/mol]

$\rho_{\text{gas}}$ = Dichte des gasförmigen Bestandteils [kg/m$^3$]

$\rho_{\text{e,i}}$ = momentane Dichte des feuchten Rohabgases [kg/m$^3$]

Die Molmasse des Abgases $M_{\text{e,i}}$ ist für die allgemeine Kraftstoffzusammensetzung $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$ unter der Annahme vollständiger Verbrennung mithilfe von Gleichung 7-13 zu berechnen:

$$M_{\text{e},i} = \frac{1 + \frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}}}{\frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}} \cdot \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12{,}001 + 1{,}00794 \cdot \alpha + 15{,}9994 \cdot \varepsilon + 14{,}0067 \cdot \delta + 32{,}0065 \cdot \gamma} + \frac{\frac{H_{\text{a}} \cdot 10^{-3}}{2 \times 1{,}00794 + 15{,}9994} + \frac{1}{M_{\text{a}}}}{1 + H_{\text{a}} \cdot 10^{-3}}} \qquad (7\text{-}13)$$

Dabei gilt:

$q_{\text{mf},i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs, feucht [kg/s]

$q_{\text{maw},i}$ = momentaner Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht [kg/s]

$\alpha$ = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

$\delta$ = Stickstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

$\varepsilon$ = Sauerstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

$\gamma$ = Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis [-]

$H_{\text{a}}$ = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g $H_2O$/kg trockener Luft]

$M_{\text{a}}$ = Molekularmasse der trockenen Ansaugluft = 28,965 g/mol

Die momentane Dichte des Rohabgases $r_{\text{e},i}$ [kg/m$^3$] ist mithilfe von Gleichung 7-14 zu berechnen:

$$\rho_{\text{e},i} = \frac{1\,000 + H_{\text{a}} + 1\,000 \cdot (q_{\text{mf},i} / q_{\text{mad},i})}{773{,}4 + 1{,}2434 \cdot H_{\text{a}} + k_{\text{f}} \cdot 1\,000 \cdot (q_{\text{mf},i} / q_{\text{mad},i})} \qquad (7\text{-}14)$$

Dabei gilt:

$q_{\text{mf},i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]

$q_{\text{mad},i}$ = momentaner Massendurchsatz der trockenen Ansaugluft [kg/s]

$H_{\text{a}}$ = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g $H_2O$/kg trockener Luft]

$k_{\text{f}}$ = zusätzliches Verbrennungsvolumen [m$^3$/kg Kraftstoff] (siehe Gleichung 7-5)

2.1.6. Massendurchsatz des Rohabgases

▼B

2.1.6.1. 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 mithilfe von Gleichung 7-15 zu berechnen.

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \tag{7-15}$$

Dabei gilt:

$q_{maw,i}$ = momentaner Massendurchsatz der Ansaugluft [kg/s]

$q_{mf,i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]

2.1.6.2. Verfahren zur Messung mit Spürgas

Hierbei wird die Konzentration eines Spürgases im Abgas gemessen. Der momentane Abgasdurchsatz $q_{mew,i}$ [kg/s] ist mithilfe von Gleichung 7-16 zu berechnen.

$$q_{mew,i} = \frac{q_{Vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot (c_{mix,i} - c_b)} \tag{7-16}$$

Dabei gilt:

$q_{Vt}$ = Durchsatz des Spürgases [$m^3$/s]

$c_{mix,i}$ = momentane Konzentration des Spürgases nach der Vermischung [ppm]

$r_e$ = Dichte des Rohabgases [kg/$m^3$]

$c_b$ = 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.

2.1.6.3. Verfahren zur Messung von Luftdurchsatz und Luft-Kraftstoff-Verhältnis

Hierbei wird die Abgasmasse aus dem Luftdurchsatz und dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis errechnet. Der momentane Abgasdurchsatz $q_{mew,i}$ [kg/s] ist mithilfe von Gleichung 7-17 zu berechnen.

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i}\right) \tag{7-17}$$

Dabei gilt:

$$A/F_{st} = \frac{138{,}0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right)}{12{,}011 + 1{,}00794 \cdot \alpha + 15{,}9994 \cdot \varepsilon + 14{,}0067 \cdot \delta + 32{,}065 \cdot \gamma} \tag{7-18}$$

$$\lambda_i = \frac{\left(100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4}\right) + \left(\frac{\alpha}{4} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3{,}5 \cdot c_{CO2d}}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3{,}5 \cdot c_{CO2d}}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}\right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4{,}764 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})} \tag{7-19}$$

Dabei gilt:

$q_{maw,i}$ = Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht [kg/s]

$A/F_{st}$ = stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis [-]

▼B

$\lambda_i$ = momentaner Luftüberschussfaktor [-]

$c_{COd}$ = CO-Konzentration im Rohabgas, trocken [ppm]

$c_{CO2d}$ = $CO_2$-Konzentration im Rohabgas, trocken [Prozent]

$c_{HCw}$ = HC-Konzentration im Rohabgas, feucht [ppm C1]

$\alpha$ = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

$\delta$ = Stickstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

$\varepsilon$ = Sauerstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

$\gamma$ = Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis [-]

2.1.6.4. Kohlenstoffbilanzmethode, einstufiges Verfahren

Die einstufige Formel in Gleichung 7-20 kann zur Berechnung des Massendurchsatzes des feuchten Abgases $q_{mew,i}$ [kg/s] verwendet werden:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left[ \frac{1{,}4 \cdot w_C^2}{(1{,}0828 \cdot w_C + k_{fd} \cdot f_c) f_c} \left( 1 + \frac{H_a}{1\,000} \right) + 1 \right] \quad (7\text{-}20)$$

wobei der Kohlenstofffaktor $f_c$ [-] mithilfe der nachstehenden Gleichung ermittelt wird:

$$f_c = 0{,}5441 \cdot (c_{CO2d} - c_{CO2d,a}) + \frac{c_{COd}}{18\,522} + \frac{c_{HCw}}{17\,355} \quad (7\text{-}21)$$

Dabei gilt:

$q_{mf,i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]

$w_C$ = Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$H_a$ = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g $H_2O$/kg trockener Luft]

$k_{fd}$ = zusätzliches Verbrennungsvolumen, trocken [$m^3$/kg Kraftstoff]

$c_{CO2d}$ = Konzentration des trockenen $CO_2$ im Rohabgas [ %]

$c_{CO2d,a}$ = Konzentration des trockenen $CO_2$ in der Umgebungsluft [ %]

$c_{COd}$ = Konzentration des trockenen CO im Rohabgas [ppm]

$c_{HCw}$ = Konzentration des feuchten HC im Rohabgas [ppm]

wobei der Faktor $k_{fd}$ [$m^3$/kg Kraftstoff] im trockenen Bezugszustand mithilfe von Gleichung 7-22 berechnet wird, indem das im Zuge der Verbrennung gebildete Wasser von $k_f$ abgezogen wird:

$$k_{fd} = k_f - 0{,}11118 \cdot w_H \quad (7\text{-}22)$$

Dabei gilt:

$k_f$ = kraftstoffspezifischer Faktor für Gleichung 7-5 [$m^3$/kg Kraftstoff]

$w_H$ = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

▼B

2.2. Verdünnte gasförmige Emissionen

2.2.1. Masse der gasförmigen Emissionen

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/test] mithilfe von Gleichung 7-23 zu bestimmen:

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot m_{ed} \quad (7\text{-}23)$$

Dabei gilt:

$u_{gas}$ ist das Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und der Dichte der Luft gemäß Tabelle 7.2 oder berechnet mithilfe von Gleichung 7-34 [-]

$c_{gas}$ = mittlere hintergrundkorrigierte Konzentration des Abgasbestandteils, feucht [ppm] bzw. [Vol.- %]

$k_h$ = $NO_x$-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die $NO_x$-Emissionsberechnung

k = 1 für $c_{gasr,w,i}$ in [ppm], $k$ = 10 000 für $c_{gasr,w,i}$ in [Vol.- %]

$m_{ed}$ = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg/test]

Für Systeme mit Durchsatzkompensation (ohne Wärmetauscher) ist die Schadstoffmasse $m_{gas}$ [g/test] durch Berechnung der momentanen Massenemissionen sowie Integration und Hintergrundkorrektur mithilfe von Gleichung 7-24 zu bestimmen:

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot \left( \sum_{i=1}^{N} [(m_{ed,i} \cdot c_e \cdot u_{gas})] - \left[ (m_{ed} \cdot c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \cdot u_{gas}) \right] \right) \quad (7\text{-}24)$$

Dabei gilt:

$c_e$ = Emissionskonzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm] oder [Vol.- %]

$c_d$ = Emissionskonzentration in der Verdünnungsluft, feucht [ppm] oder [Vol.- %]

$m_{ed,i}$ = Masse des verdünnten Abgases während des Zeitintervalls $i$ [kg]

$m_{ed}$ = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg]

$u_{gas}$ = Wert aus Tabelle 7.2 [-]

$D$ = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]

$k_h$ = $NO_x$-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die $NO_x$-Emissionsberechnung

$k$ = 1 für $c$ in [ppm], $k$ = 10 000 für $c$ in [Vol.- %]

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 $m_{ed,i}$ 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.

▼B

2.2.2. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Alle nach Nummer 2.2.1 im trockenen Bezugszustand gemessenen Konzentrationen sind mithilfe der Gleichung 7-3 in den feuchten Bezugszustand umzurechnen.

2.2.2.1. Verdünntes Abgas

Konzentrationen im trockenen Bezugszustand sind mithilfe einer der beiden folgenden Gleichungen [(7-25) oder (7-26)] in den feuchten Bezugszustand umzurechnen:

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{\alpha \cdot c_{CO2w}}{200}\right) - k_{w2}\right] \cdot 1{,}008 \qquad (7\text{-}25)$$

oder

$$k_{w,e} = \left(\frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{\alpha \cdot c_{CO2d}}{200}}\right) \cdot 1{,}008 \qquad (7\text{-}26)$$

Dabei gilt:

$\alpha$ = 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 und ist mithilfe der Gleichung 7-27 zu berechnen:

$$k_{w2} = \frac{1{,}608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D}\right)\right]}{1\,000 + \left\{1{,}608 \cdot \left[H_d\left(1 - \frac{1}{D}\right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D}\right)\right]\right\}} \qquad (7\text{-}27)$$

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 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]

2.2.2.2. Verdünnungsfaktor

Der Verdünnungsfaktor $D$ [-] (der für die Hintergrundkorrektur und die Berechnung von $k_{w2}$ benötigt wird) ist mithilfe von Gleichung 7-28 zu berechnen:

$$D = \frac{F_s}{c_{CO2,e} + (c_{HC,e} + c_{CO,e}) \cdot 10^{-4}} \qquad (7\text{-}28)$$

Dabei gilt:

$F_S$ = stöchiometrischer Faktor [-]

$c_{CO2,e}$ = $CO_2$-Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [Volumenprozent]

$c_{HC,e}$ = HC-Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm C1]

$c_{CO,e}$ = CO-Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm]

▼B

Der stöchiometrische Faktor ist mithilfe von Gleichung 7-29 zu berechnen:

$$F_s = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3{,}76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (7\text{-}29)$$

Dabei gilt:

$\alpha$ = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis des Kraftstoffs [-]

Ist die Kraftstoffzusammensetzung unbekannt, können alternativ folgende stöchiometrische Faktoren verwendet werden:

$F_S$ (Diesel) = 13,4

$F_S$ (LPG) = 11,6

$F_S$ (Erdgas) = 9,5

$F_S$ (E10) = 13,3

$F_S$ (E85) = 11,5

Wird eine direkte Messung des Abgasdurchsatzes durchgeführt, kann der Verdünnungsfaktor $D$ [-] mithilfe von Gleichung 7-30 berechnet werden:

$$D = \frac{q_{V\mathrm{CVS}}}{q_{V\mathrm{ew}}} \quad (7\text{-}30)$$

Dabei gilt:

$q_{V\mathrm{CVS}}$ ist der Volumendurchsatz des verdünnten Abgases [$m^3$/s]

$q_{V\mathrm{ew}}$ = Volumendurchsatz des Rohabgases [$m^3$/s]

2.2.2.3. Verdünnungsluft

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1{,}008 \quad (7\text{-}31)$$

Dabei ist:

$$k_{w3} = \frac{1{,}608 \cdot H_d}{1\,000 + 1{,}608 \cdot H_d} \quad (7\text{-}32)$$

Dabei gilt:

$H_d$ = Feuchtigkeit der Verdünnungsluft [g $H_2O$/kg trockener Luft]

2.2.2.4. 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 mithilfe der Beutelmethode oder durch laufende Messungen mit Integration bestimmt werden. Es ist Gleichung 7-33 zu verwenden:

$$c_{gas} = c_{gas,e} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \quad (7\text{-}33)$$

Dabei gilt:

$c_{gas}$ = Nettokonzentration des gasförmigen Schadstoffs [ppm] oder [Vol.- %]

$c_{gas,e}$ = Emissionskonzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm] oder [Vol.- %]

$c_d$ = Emissionskonzentration in der Verdünnungsluft, feucht [ppm] oder [Vol.- %]

$D$ = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]

▼B

2.2.3. Abgasbestandteilspezifischer Faktor u

Der abgasbestandteilspezifische Faktor $u_{gas}$ verdünnter Gase kann entweder mithilfe von Gleichung 7-34 berechnet oder Tabelle 7.2 entnommen werden; in Tabelle 7.2 wird davon ausgegangen, dass die Dichte des verdünnten Abgases der Dichte der Luft entspricht.

$$u = \frac{M_{gas}}{M_{d,w} \cdot 1\,000} = \frac{M_{gas}}{\left[M_{da,w} \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + M_{r,w} \cdot \left(\frac{1}{D}\right)\right] \cdot 1\,000} \quad (7\text{-}34)$$

Dabei gilt:

$M_{gas}$ = Molmasse des Abgasbestandteils [g/mol]

$M_{d,w}$ = Molmasse des verdünnten Abgases [g/mol]

$M_{da,w}$ = Molmasse der Verdünnungsluft [g/mol]

$M_{r,w}$ = Molmasse des Rohabgases [g/mol]

$D$ = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]

*Tabelle 7.2*

**u-Werte für das verdünnte Abgas (für die in ppm ausgedrückte Emissionskonzentration) und Dichte der Abgasbestandteile**

| Kraftstoff | $\rho_e$ | Gas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $NO_x$ | CO | HC | $CO_2$ | $O_2$ | $CH_4$ |
| | | | | $r_{gas}$ [kg/m³] | | | |
| | | 2,053 | 1,250 | (1) | 1,9636 | 1,4277 | 0,716 |
| | | | | $u_{gas}$ (2) | | | |
| Diesel (nicht für den Straßenverkehr bestimmter Dieselkraftstoff) | 1,2943 | 0,001586 | 0,000966 | 0,000482 | 0,001517 | 0,001103 | 0,000553 |
| Ethanol für bestimmte Selbstzündungsmotoren (ED95) | 1,2768 | 0,001609 | 0,000980 | 0,000780 | 0,001539 | 0,001119 | 0,000561 |
| Erdgas/ Biomethan (3) | 1,2661 | 0,001621 | 0,000987 | 0,000528 (4) | 0,001551 | 0,001128 | 0,000565 |
| Propan | 1,2805 | 0,001603 | 0,000976 | 0,000512 | 0,001533 | 0,001115 | 0,000559 |
| Butan | 1,2832 | 0,001600 | 0,000974 | 0,000505 | 0,001530 | 0,001113 | 0,000558 |
| LPG (5) | 1,2811 | 0,001602 | 0,000976 | 0,000510 | 0,001533 | 0,001115 | 0,000559 |
| Benzin (E10) | 1,2931 | 0,001587 | 0,000966 | 0,000499 | 0,001518 | 0,001104 | 0,000553 |
| Ethanol (E85) | 1,2797 | 0,001604 | 0,000977 | 0,000730 | 0,001534 | 0,001116 | 0,000559 |

(1) Kraftstoffabhängig.
(2) Bei $l$ = 2, trockener Luft, 273 K und 101,3 kPa.
(3) $u$-Werte ± 0,2 % für folgende Massenverteilung: C = 66 – 76 %; H = 22 – 25 %; N = 0 – 12 %.
(4) NMHC auf der Grundlage von $CH_{2,93}$ (für Gesamt-HC ist der $u_{gas}$–Faktor für $CH_4$ zu verwenden).
(5) $u$-Werte ± 0,2 % für folgende Massenverteilung: C3 = 70 – 90 %; C4 = 10 – 30 %.

2.2.4. Berechnung des Massendurchsatzes des Abgases

2.2.4.1. PDP-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases $m_{ed}$ während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers konstant in einem Toleranzbereich von ± 6 K gehalten wird, ist der Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/test] über den Zyklus mithilfe von Gleichung 7-35 zu berechnen:

▼B

$$m_{ed} = 1{,}293 \cdot V_0 \cdot n_P \cdot \frac{P_p}{101{,}325} \cdot \frac{273{,}15}{T} \quad (7\text{-}35)$$

Dabei gilt:

$V_0$ = unter Prüfbedingungen gefördertes Gasvolumen je Pumpenumdrehung [$m^3$/rev]

$n_P$ = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Prüfung [rev/test]

$p_p$ = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

$\overline{T}$ = mittlere Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneintritt [K]

1,293 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 $m_{ed,i}$ [kg] während des Zeitintervalls mithilfe von Gleichung 7-36 zu berechnen:

$$m_{ed,i} = 1{,}293 \cdot V_0 \cdot n_{P,i} \cdot \frac{p_p}{101{,}325} \cdot \frac{273{,}15}{T} \quad (7\text{-}36)$$

Dabei gilt:

$V_0$ = unter Prüfbedingungen gefördertes Gasvolumen je Pumpenumdrehung [$m^3$/rev]

$p_p$ = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

$n_{P,i}$ = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Zeitint ervall $i$

$\overline{T}$ = mittlere Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneintritt [K]

1,293 kg/$m^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

2.2.4.2. CFV-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers konstant in einem Toleranzbereich von ± 11 K gehalten wird, ist der Massendurchsatz $m_{ed}$ [g/test] über den Zyklus mithilfe von Gleichung 7-37 zu berechnen:

$$m_{ed} = \frac{1{,}293 \cdot t \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0{,}5}} \quad (7\text{-}37)$$

Dabei gilt:

$t$ = Zyklusdauer [s]

$K_V$ = Kalibrierkoeffizient des Venturirohrs mit kritischer Strömung für Normalzustand [$(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s)/kg$]

$p_p$ = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

$T$ = absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

1,293 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 $m_{ed,i}$ [kg] während des Zeitintervalls mithilfe von Gleichung 7-38 zu berechnen:

$$m_{ed,i} = \frac{1{,}293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0{,}5}} \quad (7\text{-}38)$$

▼B

Dabei gilt:

$Dt_i$ = Zeitintervall der Prüfung [s]

$K_V$ = Kalibrierkoeffizient des Venturirohrs mit kritischer Strömung für Normalzustand $[(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s)/kg]$

$p_p$ = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

$T$ = absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

1,293 kg/m$^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

2.2.4.3. SSV-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers konstant in einem Toleranzbereich von ± 11 K gehalten wird, ist die Masse des verdünnten Abgases $m_{ed}$ [kg/test] über den Zyklus mithilfe von Gleichung 7-39 zu berechnen:

$$m_{ed} = 1{,}293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t \qquad (7\text{-}39)$$

Dabei gilt:

1,293 kg/m$^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

$\Delta t$ = Zyklusdauer [s]

$q_{VSSV}$ = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K) [m$^3$/s]

Dabei gilt:

$$q_{VSSV} = \frac{A_0}{60} d_v^2 C_d P_p \sqrt{\left[\frac{1}{T}\left(r_p^{1{,}4286} - r_p^{1{,}7143}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1{,}4286}}\right)\right]} \qquad (7\text{-}40)$$

Dabei gilt:

$A_0$ = Sammlung von Konstanten und Einheitenumrechnungen = 0,0056940 $\left[\frac{m^3}{min} \cdot \frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa} \cdot \frac{1}{mm^2}\right]$

$d_V$ = 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 $m_{ed,i}$ [kg] während des Zeitintervalls mithilfe von Gleichung 7-41 zu berechnen:

$$m_{ed,i} = 1{,}293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t_i \qquad (7\text{-}41)$$

Dabei gilt:

1,293 kg/m$^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

$\Delta t_i$ = Zeitintervall [s]

$q_{VSSV}$ = Volumendurchsatz des SSV [m$^3$/s]

▼B

2.3. Berechnung der Partikelemission

2.3.1. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Nach der Auftriebskorrektur der Partikel-Probenahmemasse ist gemäß Nummer 8.1.12.2.5 die Partikelmasse zu berechnen.

2.3.1.1. Teilstrom-Verdünnungssystem

2.3.1.1.1. Berechnung auf der Grundlage des Probenahmeverhältnisses

Die Partikelemission über den Zyklus $m_{PM}$ [g] ist mithilfe von Gleichung 7-42 zu berechnen:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1\,000} \tag{7-42}$$

Dabei gilt:

$m_f$ = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]

$r_s$ = durchschnittliches Probenahmeverhältnis über den Prüfzyklus [-]

Wobei:

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \tag{7-43}$$

Dabei gilt:

$m_{se}$ = Probenmasse des Rohabgases über den Zyklus [kg]

$m_{ew}$ = Probenmasse 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 Vollstrom-Probenahme sind $m_{sep}$ und $m_{sed}$ identisch.

2.3.1.1.2. Berechnung auf der Grundlage des Verdünnungsverhältnisses

Die Partikelemission über den Zyklus $m_{PM}$ [g] ist mithilfe von Gleichung 7-44 zu berechnen:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1\,000} \tag{7-44}$$

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 mithilfe von Gleichung 7-45 zu bestimmen:

$$m_{edf} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^{N} q_{medf,i} \tag{7-45}$$

wobei:

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} - q_{mdw,i} \tag{7-46}$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{q_{mdew,i} - q_{mdw,i}} \tag{7-47}$$

▼B

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 [-]

2.3.1.2. Vollstrom-Verdünnungssystem

Die Emissionsmenge ist mithilfe von Gleichung 7-48 zu berechnen:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (7\text{-}48)$$

Dabei ist:

$m_f$ = die über den Zyklus abgeschiedene Partikel- Probenahmemasse [mg]

$m_{sep}$ = die Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

$m_{ed}$ = die Masse des verdünnten Abgases über den gesamten Zyklus [kg]

Dabei gilt:

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \quad (7\text{-}49)$$

Dabei ist:

$m_{set}$ = die Masse des durch den Partikelfilter geleiteten doppelt verdünnten Abgases [kg]

$m_{ssd}$ = die Masse der Sekundärverdünnungsluft [kg]

2.3.1.2.1. Hintergrundkorrektur

Mithilfe von Gleichung 7-50 kann eine Hintergrundkorrektur für die Partikelmasse $m_{PM,c}$ [g] vorgenommen werden:

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[ \frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (7\text{-}50)$$

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 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]

▼B

2.3.2. Berechnung für Einzelphasen-NRSC

2.3.2.1. 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 mithilfe der Gleichung 7-51 und des in Abbildung 9.2 dargestellten Systems mit Durchsatzmessung zu ermitteln:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \quad (7\text{-}51)$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \quad (7\text{-}52)$$

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.

2.3.2.2. Berechnung des Partikelmassendurchsatzes

Der Durchsatz der Partikelemission über den Zyklus $q_{mPM}$ [g/h] ist mithilfe von Gleichung 7-53, 7-56, 7-57 oder 7-58 zu berechnen:

a) Für das Einfachfilterverfahren

$$q_{mPM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \overline{q_{medf}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (7\text{-}53)$$

$$\overline{q_{medf}} = \sum_{i=1}^{N} q_{medfi} \cdot WF_i \quad (7\text{-}54)$$

$$m_{sep} = \sum_{i=1}^{N} m_{sepi} \quad (7\text{-}55)$$

Dabei gilt:

$q_{mPM}$ = Partikelmassendurchsatz [g/h]

$m_f$ = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]

$\overline{q_{medf}}$ = 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 die Prüfphase *i* [-]

$m_{sep}$ = Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

$m_{sepi}$ = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase *i* durchströmt [kg]

N = Zahl der Messungen [-]

▼B

b) Für das Mehrfachfilterverfahren

$$q_{mPMi} = \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (7\text{-}56)$$

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 Partikelmasse 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:

c) Für das Einfachfilterverfahren

$$q_{mPM} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[ \frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left( 1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \overline{q_{medf}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (7\text{-}57)$$

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 durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluftprobe [kg]

$D_i$ = Verdünnungsfaktor in der Prüfphase $i$ (siehe Gleichung 7-28 unter Nummer 2.2.2.2) [-]

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

$\overline{q_{medf}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht [kg/s]

d) Für das Mehrfachfilterverfahren

$$q_{mPMi} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} - \left[ \frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \overline{q_{medfi}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (7\text{-}58)$$

Dabei gilt:

$q_{mPMi}$ = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase $i$ [g/h]

$m_{fi}$ = in der Prüfphase $i$ abgeschiedene Partikelmasse [mg]

$m_{sepi}$ = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase $i$ durchströmt [kg]

$m_{f,d}$ = abgeschiedene Partikelmasse der Verdünnungsluft [mg]

$m_d$ = Masse der durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluftprobe [kg]

▼B

$D$ = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]

$q_{\mathrm{medf}i}$ = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, in der Prüfphase $i$ [kg/s]

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so ist $m^{\mathrm{f,d}}/m^{\mathrm{d}}$ durch $\overline{m_{\mathrm{f,d}}/m_{\mathrm{d}}}$ zu ersetzen.

2.4. Zyklusarbeit und spezifische Emissionen

2.4.1. Gasförmige Emissionen

2.4.1.1. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Für Rohabgas bzw. verdünntes Abgas wird auf die Nummern 2.1 bzw. 2.2 verwiesen. Die resultierenden Werte für die Leistung $P$ [kW] werden über ein Prüfintervall integriert. Die Gesamtarbeit $W_{\mathrm{act}}$ [kWh] ist mithilfe von Gleichung 7-59 zu berechnen:

$$W_{\mathrm{act}} = \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} (n_i \cdot T_i) \qquad (7\text{-}59)$$

Dabei gilt:

$\mathrm{P_i}$ = momentane Motorleistung [kW]

$\mathrm{n_i}$ = momentane Motordrehzahl [rpm]

$\mathrm{T_i}$ = momentanes Motordrehmoment [Nm]

$W_{\mathrm{act}}$ = tatsächliche Zyklusarbeit [kWh]

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

Wurden gemäß Anhang VI Anlage 2 Hilfseinrichtungen angebracht, so wird das momentane Motordrehmoment in Gleichung 7-59 nicht angepasst. Wurden nach Anhang VI Nummern 6.3.2 und 6.3.3 dieser Verordnung anzubringende Hilfseinrichtungen nicht installiert oder sind Hilfseinrichtungen angebracht, die für die Prüfung ausgebaut werden sollten, ist der in Gleichung 7-59 verwendete Wert $T_i$ mithilfe von Gleichung 7-60 zu korrigieren:

$$T_{\mathrm{i}} = T_{\mathrm{i,meas}} + T_{\mathrm{i,AUX}} \qquad (7\text{-}60)$$

Dabei gilt:

$T_{i,\mathrm{meas}}$ = Messwert des momentanen Motordrehmoments

$T_{i,\mathrm{AUX}}$ = entsprechender Wert für das Drehmoment, der für den Betrieb von Hilfseinrichtungen nach Anhang VI Nummer 7.7.2.3.2 dieser Verordnung bestimmt wurde

Die spezifischen Emissionen $e_{\mathrm{gas}}$ [g/kWh] sind in Abhängigkeit von der Art des Prüfzyklus wie folgt zu berechnen.

$$e_{\mathrm{gas}} = \frac{m_{\mathrm{gas}}}{W_{\mathrm{act}}} \qquad (7\text{-}61)$$

Dabei gilt:

$m_{\mathrm{gas}}$ = Gesamtmasse der Emission [g/test]

$W_{\mathrm{act}}$ = Zyklusarbeit [kWh]

▼B

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis $e_{gas}$ [g/kWh] für andere gasförmige Emissionen als $CO_2$ ein gewichteter Durchschnittswert aus dem Prüflauf mit Kaltstart und dem Prüflauf mit Warmstart nach Gleichung 7-62:

$$e_{gas} = \frac{(0{,}1 \cdot m_{cold}) + (0{,}9 \cdot m\text{hot})}{(0{,}1 \cdot W_{act,cold}) + (0{,}9 \cdot W\text{act, hot})} \quad (7\text{-}62)$$

Dabei ist:

$m_{cold}$ die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [g]

$W_{act,\ cold}$ die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [kWh]

$m_{hot}$ die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{act,\ hot}$ die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis $e_{CO2}$ [g/kWh] für $CO_2$ aus dem NRTC mit Warmstart mithilfe von Gleichung 7-63 zu berechnen:

$$e_{CO2,hot} = \frac{m_{CO2,hot}}{W_{act,hot}} \quad (7\text{-}63)$$

Dabei ist:

$m_{CO2,\ hot}$ die $CO_2$-Emissionsmenge bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{act,\ hot}$ die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

2.4.1.2. Einzelphasen-NRSC

Die spezifischen Emissionen $e_{gas}$ [g/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-64 zu berechnen:

$$e_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (q_{mgasi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7\text{-}64)$$

Dabei gilt:

$q_{mgas,i}$ = mittlerer Massendurchsatz der Emission für die Prüfphase $i$ [g/h]

$P_i$ = Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{m,i} + P_{aux\,i}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

2.4.2. Partikelemissionen

2.4.2.1. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Die partikelspezifischen Emissionen sind anhand von Gleichung 7-61 zu berechnen, wobei $e_{gas}$ [g/kWh] bzw. $m_{gas}$ [g/test] durch $e_{PM}$ [g/kWh] bzw. $m_{PM}$ [g/test] ersetzt werden:

$$e_{PM} = \frac{m_{PM}}{W_{act}} \quad (7\text{-}65)$$

Dabei gilt:

$m_{PM}$ = Gesamtmasse der Partikelemission, berechnet gemäß Nummer 2.3.1.1 oder 2.3.1.2 [g/test]

$W_{act}$ = Zyklusarbeit [kWh]

▼B

Die Emissionen während des dynamischen Kombinationszyklus (d. h. NRTC mit Kaltstart und NRTC mit Warmstart) sind gemäß Nummer 2.4.1.1 zu berechnen.

2.4.2.2. Einzelphasen-NRSC

Die partikelspezifischen Emissionen $e_{gas}$ [g/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-66 oder 7-67 zu berechnen:

a) Für das Einfachfilterverfahren

$$e_{PM} = \frac{q_{mPM}}{\sum_{i=1}^{N}(P_i \cdot WF_i)} \quad (7\text{-}66)$$

Dabei gilt:

$P_i$ = Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{m,i} + P_{auxi}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

$q_{mPM}$ = Partikelmassendurchsatz [g/h]

b) Für das Mehrfachfilterverfahren

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(q_{mPMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N}(P_i \cdot WF_i)} \quad (7\text{-}67)$$

Dabei gilt:

$P_i$ = Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{m,i} + P_{auxi}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

$q_{mPMi}$ = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase $i$ [g/h]

Bei der Einfachfiltermethode ist der effektive Wichtungsfaktor $WF_{ei}$ für jede Prüfphase mithilfe von Gleichung 7-68 zu berechnen:

$$WF_{ei} = \frac{m_{sepi} \cdot \overline{q_{medf}}}{m_{sep} \cdot \overline{q_{medfi}}} \quad (7\text{-}68)$$

Dabei gilt:

$m_{sepi}$ = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase $i$ durchströmt [kg]

$\overline{q_{medf}}$ = 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 XVII Anlage 1 aufgeführten Wichtungsfaktoren um höchstens 0,005 (absoluter Wert) abweichen.

▼B

2.4.3. Anpassungen bei Emissionsminderungssystemen mit sporadischer (periodischer) Regenerierung

Mit Ausnahme der Motoren der Klasse RLL sind für Motoren, die mit einem Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer (periodischer) Regenerierung (siehe Anhang VI Nummer 6.6.2) ausgestattet sind, die nach Nummer 2.4.1 und 2.4.2 berechneten spezifischen Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln entweder mithilfe des einschlägigen multiplikativen Anpassungsfaktors oder des einschlägigen additiven Anpassungsfaktors zu korrigieren. Fand während der Prüfung keine sporadische Regenerierung statt, so ist der aufwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{ru,m}$ oder $k_{ru,a}$). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{rd,m}$ oder $k_{rd,a}$). Beim Einzelphasen-NRSC, für den für jede Prüfphase Anpassungsfaktoren bestimmt wurden, werden diese bei der Berechnung des gewichteten Emissionsergebnisses auf jede Phase angewendet.

2.4.4. Anpassungen bei Verschlechterungsfaktoren

Die gemäß Nummer 2.4.1 und 2.4.2 berechneten spezifischen Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln, gegebenenfalls einschließlich des Anpassungsfaktors nach Nummer 2.4.3 bei sporadischer Regenerierung, sind ebenfalls mithilfe des nach den Anforderungen des Anhangs III bestimmten einschlägigen multiplikativen oder additiven Verschlechterungsfaktors zu korrigieren.

2.5. Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS) und damit verbundene Berechnungen

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 Regelparameter des Systems gemessen und in Beziehung zum Durchsatz gesetzt.

Verschiedene Arten von Durchsatzmessgeräten können verwendet werden, z. B. ein kalibriertes Venturirohr, ein kalibrierter Laminar-Durchflussmesser oder ein kalibrierter Flügelraddurchsatzmesser.

2.5.1. 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 $m^3$/s am Pumpeneintritt bei absolutem Druck und absoluter Temperatur) als Korrelationsfunktion aufgezeichnet werden, 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 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 Durchsatzpunktes (höchste Drosselung und niedrigste PDP-Drehzahl) zu halten.

Der Luftdurchsatz ($q_{VCVS}$) bei jeder Drosselungseinstellung (mindestens sechs Drosselungseinstellungen) ist nach den Vorschriften des Herstellers aus den Messwerten des Durchsatzmessgeräts in Norm-$m^3$/s zu ermitteln. Der Luftdurchsatz wird dann mithilfe von Gleichung 7-69 in den Pumpendurchsatz ($V_0$) in $m^3$/rev bei absoluter Temperatur und absolutem Druck am Pumpeneintritt umgerechnet:

▼B

$$V_0 = \frac{q_{VCVS}}{n} \cdot \frac{T}{273{,}15} \cdot \frac{101{,}325}{p_p} \quad (7\text{-}69)$$

Dabei gilt:

$q_{VCVS}$ = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K) [$m^3$/s]

$T$ = Temperatur am Pumpeneintritt [K]

$p_p$ = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

$n$ = Pumpendrehzahl [rev/s]

Zur Korrektur der gegenseitigen Beeinflussung der Druckschwankungen in der Pumpe und der Verlustrate 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 Pumpenaustritt mithilfe von Gleichung 7-70 berechnet:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (7\text{-}70)$$

Dabei gilt:

$\Delta p_p$ = Druckdifferenz zwischen Pumpeneintritt und Pumpenaustritt [kPa]

$p_p$ = absoluter Austrittsdruck am Pumpenaustritt [kPa]

$n$ = Pumpendrehzahl [rev/s]

Mithilfe der Fehlerquadratmethode wird anhand von Gleichung 7-71 eine lineare Anpassung vorgenommen, um die nachstehende Kalibriergleichung zu erhalten:

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \quad (7\text{-}71)$$

wobei $D_0$ [$m^3$/rev] und $m$ [$m^3$/s], also Achsabschnitt bzw. Steigung, die Regressionsgerade 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 mithilfe der Gleichung errechneten Werte dürfen nicht mehr als ± 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. Daher muss die Kalibrierung bei Inbetriebnahme der Pumpe, nach größeren Wartungsarbeiten sowie dann erfolgen, wenn bei der Überprüfung des Gesamtsystems eine Veränderung der Verlustrate festgestellt wird.

2.5.2. 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 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.

▼B

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 mithilfe von Gleichung 7-72 zu berechnen:

$$K_V = \frac{q_{VCVS} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \quad (7\text{-}72)$$

Dabei gilt:

$q_{VSSV}$ = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (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 ± 0,3 % des Mittelwerts von $K_V$ nicht überschreiten.

2.5.3. Subsonisches Venturirohr (SSV)

Die Kalibrierung des SSV beruht auf der Durchsatzgleichung für ein Venturirohr mit subsonischer Strömung. Wie in Gleichung 7-40 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 in Norm-$m^3/s$ zu ermitteln. Der Durchflusskoeffizient ist anhand der Kalibrierdaten für jede Drosselungseinstellung mithilfe von Gleichung 7-73 zu berechnen:

$$C_d = \frac{q_{VSSV}}{\frac{A_0}{60} d_V^2 p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T_{in,V}} (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1,4286}}\right)\right]}} \quad (7\text{-}73)$$

Dabei gilt:

$A_0$ = Sammlung von Konstanten und Einheitenumwandlungen $= 0{,}0056940 \left[\frac{m^3}{min} \cdot \frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa} \cdot \frac{1}{mm^2}\right]$

$q_{VSSV}$ = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (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 mithilfe von Gleichung 7-74 berechnet:

$$Re = A_1 \cdot 60 \cdot \frac{q_{VSSV}}{d_V \cdot \mu} \quad (7\text{-}74)$$

Dabei gilt:

$$\mu = \frac{b \times T^{1,5}}{S + T} \quad (7\text{-}75)$$

▼B

Dabei gilt:

$A_1$ = Sammlung von Konstanten und Einheitenumrechnungen = 27,43831 $\left[\frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{min}{s} \cdot \frac{mm}{m}\right]$

$q_{VSSV}$ = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K) [$m^3/s$]

$d_V$ = Durchmesser der SSV-Einschnürung [mm]

$\mu$ = absolute oder dynamische Viskosität des Gases [kg/(m · s)]

b = $1{,}458 \times 10^6$ (empirische Konstante) [kg/(m · s · $K^{0,5}$)]

S = 110,4 (empirische Konstante) [K]

Da $q_{VSSV}$ selbst in die *Re*-Formel eingeht, müssen die Berechnungen mit einer 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 aus der resultierenden Kalibrierungskurvengleichung für $C_d$ sich ergebenden Rechenwerte innerhalb von ± 0,5 % des Messwerts $C_d$ für jeden Kalibrierungspunkt liegen.

2.6. Driftkorrektur

2.6.1. Allgemeines Verfahren

Mithilfe der Berechnungen gemäß diesem Abschnitt 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 Nummer 2.6.2 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 Anhang VI Nummer 8.2.2.2 angegeben.

Das allgemeine Prüfverfahren ist gemäß den Bestimmungen der Anlage 1 durchzuführen, wobei die Konzentrationen $x_i$ oder $\bar{x}$ durch die Konzentrationen $c_i$ oder $\bar{c}$ersetzt werden.

2.6.2. Berechnungsverfahren

Die Driftkorrektur ist mithilfe von Gleichung 7-76 zu berechnen:

$$c_{i\text{driftcor}} = c_{\text{refzero}} + (c_{\text{refspan}} - c_{\text{refzero}}) \frac{2c_i - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})}{(c_{\text{prespan}} + c_{\text{postspan}}) - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})} \quad (7\text{-}76)$$

Dabei gilt:

$c_{i\text{driftcor}}$ = driftkorrigierte Konzentration [ppm]

$c_{\text{refzero}}$ = Bezugswert der Konzentration des Nullgases; in der Regel null, es sei denn, ein anderer Wert ist bekannt [ppm]

$c_{\text{refspan}}$ = Bezugswert der Konzentration des Justiergases [ppm]

$c_{\text{prespan}}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration vor dem Prüfintervall [ppm]

$c_{\text{postspan}}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration nach dem Prüfintervall [ppm]

▼B

$c_i$ oder $\bar{c}$ = während der Prüfung vor der Driftkorrektur aufgezeichnete, d. h. gemessene, Konzentration [ppm]

$c_{prezero}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration vor dem Prüfintervall [ppm]

$c_{postzero}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration nach dem Prüfintervall [ppm]

3. **Molbasierte Emissionsberechnung**

3.1. Tiefgestellte Indizes

| | Messgröße |
|---|---|
| abs | absolute Größe |
| 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 |
| | momentanes Messergebnis (z. B. 1 Hz) |
| *i* | Einzelwert einer Reihe |
| 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 |

▼B

| | Messgröße |
|---|---|
| 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 |

3.2. Symbole für das chemische Gleichgewicht

$x_{dil/exh}$ = Menge an Verdünnungsgas oder Luftüberschuss pro Mol Abgas

$x_{H2Oexh}$ = Wassermenge im Abgas pro Mol Abgas

$x_{Ccombdry}$ = Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas

$x_{H2Oexhdry}$ = 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

$x_{O2intdry}$ = Menge an $O_2$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft

$x_{CO2intdry}$ = Menge an $CO_2$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft

▼B

$x_{H2Ointdry}$ = Menge an $H_2O$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft

$x_{CO2int}$ = Menge an $CO_2$ in der Ansaugluft pro Mol Ansaugluft

$x_{CO2dil}$ = Menge an $CO_2$ im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas

$x_{CO2dildry}$ = Menge an $CO_2$ im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas

$x_{H2Odildry}$ = Menge an $H_2O$ im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas

$x_{H2Odil}$ = Menge an $H_2O$ im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas

$x_{[emission]meas}$ = Menge an gemessener Emission in der Probe am jeweiligen Gasanalysator

$x_{[emission]dry}$ = Emissionsmenge pro Trockenmol der trockenen Probe

$x_{H2O[emission]meas}$ = Wassermenge in der Probe am Ort der Emissionsbestimmung

$x_{H2Oint}$ = Wassermenge in der Ansaugluft auf der Grundlage einer Feuchtigkeitsmessung der Ansaugluft

3.3. Grundlegende Parameter und Beziehungen

3.3.1. Trockenluft und chemische Spezies

In diesem Abschnitt werden für die Zusammensetzung der Trockenluft die folgenden Werte verwendet:

$x_{O2airdry}$ = 0,209445 mol/mol

$x_{Arairdry}$ = 0,00934 mol/mol

$x_{N2airdry}$ = 0,78084 mol/mol

$x_{CO2airdry}$ = 375 μmol/mol

In diesem Abschnitt werden die folgenden Molmassen oder effektiven Molmassen von chemischen Spezies verwendet:

$M_{air}$ = 28,96559 g/mol (Trockenluft)

$M_{Ar}$ = 39,948 g/mol (Argon)

$M_{C}$ = 12,0107 g/mol (Kohlenstoff)

$M_{CO}$ = 28,0101 g/mol (Kohlenmonoxid)

$M_{CO2}$ = 44,0095 g/mol (Kohlendioxid)

$M_{H}$ = 1,00794 g/mol (atomarer Wasserstoff)

$M_{H2}$ = 2,01588 g/mol (molekularer Wasserstoff)

$M_{H2O}$ = 18,01528 g/mol (Wasser)

$M_{He}$ = 4,002602 g/mol (Helium)

$M_{N}$ = 14,0067 g/mol (atomarer Stickstoff)

$M_{N2}$ = 28,0134 g/mol (molekularer Stickstoff)

$M_{NOx}$ = 46,0055 g/mol (Stickstoffoxide(*))

$M_{O}$ = 15,9994 g/mol (atomarer Sauerstoff)

$M_{O2}$ = 31,9988 g/mol (molekularer Sauerstoff)

▼B

$M_{C3H8}$ = 44,09562 g/mol (Propan)

$M_S$ = 32,065 g/mol (Schwefel)

$M_{HC}$ = 13,875389 g/mol (sämtliche Kohlenwasserstoffe(**))

(**) Die effektive Molmasse von HC ist durch ein Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis α von 1,85 definiert.

(*) Die effektive Molmasse von NOx ist durch die Molmasse von Stickstoffdioxid ($NO_2$) definiert.

In diesem Abschnitt wird die folgende molare Gaskonstante $R$ für ideale Gase verwendet:

$R$ = 8,314472J (mol · K)

In diesem Abschnitt werden die folgenden spezifischen Wärmeverhältnisse $\gamma$ [J/(kg · K)]/[J/(kg · K)] für Verdünnungsluft und verdünntes Abgas verwendet:

$\gamma_{air}$ = 1,399 (spezifisches Wärmeverhältnis für Ansaugluft oder Verdünnungsluft)

$\gamma_{dil}$ = 1,399 (spezifisches Wärmeverhältnis für verdünntes Abgas)

$\gamma_{exh}$ = 1,385 (spezifisches Wärmeverhältnis für Rohabgas)

3.3.2. Feuchte Luft

In diesem Abschnitt wird die Ermittlung der Wassermenge in einem idealen Gas beschrieben:

3.3.2.1. Dampfdruck von Wasser

Der Dampfdruck von Wasser $p_{H2O}$ [kPa] für bestimmte Sättigungstemperaturbedingungen $T_{sat}$ [K] ist mithilfe der Gleichung 7-77 oder 7-78 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:

$$\log_{10}(p_{H2O}) = 10{,}79574 \cdot \left(1 - \frac{273{,}16}{T_{sat}}\right) - 5{,}02800 \cdot \log_{10}\left(\frac{T_{sat}}{273{,}16}\right) + 1{,}50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{-8{,}2969 \cdot \left(\frac{T_{sat}}{273{,}16} - 1\right)}\right) + 0{,}42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4{,}76955 \cdot \left(1 - \frac{273{,}16}{T_{sat}}\right)} - 1\right) - 0{,}2138602 \quad (7\text{-}77)$$

Dabei gilt:

$p_{H2O}$ = 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:

$$\log_{10}(p_{H2O}) = -9{,}096853 \cdot \left(\frac{273{,}16}{T_{sat}} - 1\right) - 3{,}566506 \cdot \log_{10}\left(\frac{273{,}16}{T_{sat}}\right) + 0{,}876812 \cdot \left(1 - \frac{T_{sat}}{273{,}16}\right) - 0{,}2138602 \quad (7\text{-}78)$$

Dabei gilt:

$T_{sat}$ = Sättigungstemperatur von Wasser bei gemessenen Bedingungen [K]

▼B

3.3.2.2. Taupunkt

Wird Feuchtigkeit als Taupunkt gemessen, wird die Wassermenge in einem idealen Gas $x_{H2O}$ [mol/mol] mithilfe von Gleichung 7-79 berechnet:

$$x_{H2O} = \frac{p_{H2O}}{p_{abs}} \quad (7\text{-}79)$$

Dabei gilt:

$x_{H2O}$ = Wassermenge in einem idealen Gas [mol/mol]

$p_{H2O}$ = Dampfdruck von Wasser am gemessenen Taupunkt, $T_{sat}=T_{dew}$ [kPa]

$p_{abs}$ = absoluter feuchter statischer Druck am Ort der Taupunktmessung [kPa]

3.3.2.3. relative Feuchtigkeit

Wird Feuchtigkeit als relative Feuchtigkeit *RH %* gemessen, wird die Wassermenge in einem idealen Gas $x_{H2O}$ [mol/mol] mithilfe von Gleichung 7-80 berechnet:

$$x_{H2O} = \frac{RH\%}{100} \cdot \frac{RH\%}{100} \cdot \frac{P_{H2O}}{P_{abs}} \quad (7\text{-}80)$$

Dabei gilt:

*RH* % = relative Feuchtigkeit [ %]

$p_{H2O}$ = Wasserdampfdruck bei 100 % relativer Feuchtigkeit am Ort der Messung der relativen Feuchtigkeit, $T_{sat}=T_{amb}$ [kPa]

$p_{abs}$ = absoluter feuchter statischer Druck am Ort der Messung der relativen Feuchtigkeit [kPa]

3.3.2.4. Bestimmung des Taupunkts aus relativer Feuchtigkeit und Trockentemperatur

Wird Feuchtigkeit als relative Feuchtigkeit *RH %* gemessen, wird der Taupunkt $T_{dew}$ aus *RH %* und Trockentemperatur mithilfe von Gleichung 7-81 berechnet:

$$T_{dew} = \frac{2{,}0798233 \cdot 10^{2} - 2{,}0156028 \cdot 10^{1} \cdot \ln\,(p_{H2O}) + 4{,}6778925 \cdot 10^{-1} \cdot \ln\,(p_{H2O})^{2} - 9{,}2288067 \cdot 10^{-6} \cdot \ln\,(p_{H2O})^{3}}{1 - 1{,}3319669 \cdot 10^{-1} \cdot \ln\,(p_{H2O}) + 5{,}6577518 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\,(p_{H2O}^{2}) - 7{,}517286510 \cdot 10^{-5} \ln\,(p_{H2O}^{3})} \quad (7\text{-}81)$$

Dabei gilt:

$p_{H2O}$ = Wasserdampfdruck im Verhältnis zur relativen Feuchtigkeit am Ort der Messung der relativen Feuchtigkeit, $T_{sat} = T_{amb}$

$T_{dew}$ = Taupunkt wie aus Messungen der relativen Feuchtigkeit und der Trockentemperatur bestimmt

3.3.3. Kraftstoffeigenschaften

Die allgemeine chemische Formel des Kraftstoffs lautet $CH\alpha O\beta S\gamma N\delta$, wobei $\alpha$ dem Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (H/C), $\beta$ dem Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (O/C), $\gamma$ dem Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis (S/C) und $\delta$ dem Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (N/C) entspricht. Auf der Grundlage dieser Formel kann die Kohlenstoffmassenfraktion des Kraftstoffs $w_C$ berechnet werden. Bei Dieselkraftstoff kann die einfache Formel $CH\alpha O\beta$ angewendet werden. Für die Kraftstoffzusammensetzung können die Vorgabewerte aus Tabelle 7.3 verwendet werden:

▼B

*Tabelle 7.3*

**Vorgabewerte für das Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis, das Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis, das Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis γ, das Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis δ und die Kohlenstoffmassenfraktion des Kraftstoffs $w_C$ für Dieselkraftstoffe**

| Kraftstoff | Wasserstoff-, Sauerstoff-, Schwefel- und Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$ | Kohlenstoffmassenkonzentration $w_C$ [g/g] |
|---|---|---|
| Diesel (nicht für den Straßenverkehr bestimmter Dieselkraftstoff) | $CH_{1,80}O_0S_0N_0$ | 0,869 |
| Ethanol für bestimmte Selbstzündungsmotoren (ED95) | $CH_{2,92}O_{0,46}S_0N_0$ | 0,538 |
| Benzin (E10) | $CH_{1,92}O_{0,03}S_0N_0$ | 0,833 |
| Benzin (E0) | $CH_{1,85}O_0S_0N_0$ | 0,866 |
| Ethanol (E85) | $CH_{2,73}O_{0,36}S_0N_0$ | 0,576 |
| LPG | $CH_{2,64}O_0S_0N_0$ | 0,819 |
| Erdgas/Biomethan | $CH_{3,78}O_{0.016}S_0N_0$ | 0,747 |

3.3.3.1. Berechnung der Kohlenstoffmassenkonzentration $w_C$

Als Alternative zu den Vorgabewerten aus Tabelle 7.3 oder wenn für den verwendeten Referenzkraftstoff keine Vorgabewerte angegeben sind, kann die Kohlenstoffmassenkonzentration $w_C$ mithilfe der Gleichung 7-82 aus gemessenen Kraftstoffeigenschaften berechnet werden. Die Werte für α und β sind für den Kraftstoff zu bestimmen und in jedem Fall in die Gleichung einzusetzen, γ und δ können jedoch auf null gesetzt werden, wenn sie in der entsprechenden Zeile der Tabelle 7.3 null entsprechen:

$$W_C = \frac{1 \cdot M_C}{M_C + \alpha \cdot M_H + \beta M_o + \gamma \cdot M_S + \delta M_N} \qquad (7\text{-}82)$$

Dabei gilt:

$M_C$ = Molmasse von Kohlenstoff

$\alpha$ = Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs, gewichtet nach molarem Verbrauch

$M_H$ = Molmasse von Wasserstoff

$\beta$ = Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs, gewichtet nach molarem Verbrauch

$M_O$ = Molmasse von Sauerstoff

$\gamma$ = Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs, gewichtet nach molarem Verbrauch

$M_S$ = Molmasse von Schwefel

$\delta$ = Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs, gewichtet nach molarem Verbrauch

$M_N$ = Molmasse von Stickstoff

▼B

3.3.4. Berichtigung der Gesamt-HC/(THC)-Konzentration um anfängliche Verunreinigung

Bei der Messung von HC wird $x_{THC[THC\text{-}FID]}$ unter Verwendung der anfänglichen Konzentration der THC-Verunreinigung $x_{THC[THC\text{-}FID]init}$ gemäß Anhang VI Nummer 7.3.1.2 mithilfe von Gleichung 7-83 berechnet:

$$x_{THC[THC-FID]_{cor}} = x_{THC[THC-FID]_{uncorr}} - x_{THC[THC-FID]_{init}} \quad (7\text{-}83)$$

Dabei gilt:

$x_{THC[THC\text{-}FID]cor}$ = um Verunreinigung korrigierte THC-Konzentration [mol/mol]

$x_{THC[THC\text{-}FID]uncorr}$ = nicht korrigierte THC-Konzentration [mol/mol]

$x_{THC[THC\text{-}FID]init}$ = anfängliche Konzentration der THC-Verunreinigung [mol/mol]

3.3.5. Nach Durchsatz gewichtete mittlere Konzentration

In einigen Nummern dieses Abschnitts 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 als Normalwert auf der Grundlage früherer Prüfungen ähnlicher Motoren oder mit ähnlichen Geräten und Instrumenten erwartet werden.

3.4. Chemisches Gleichgewicht von Kraftstoff, Ansaugluft und Abgas

3.4.1. 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.

3.4.2. Verfahren, für die das chemische Gleichgewicht benötigt wird

Folgende Werte können mithilfe des chemischen Gleichgewichts ermittelt werden:

a) Wassermenge in Rohabgas oder verdünntem Abgas $x_{H2Oexh}$, wenn die Wassermenge zur Berichtigung um die von einem Probenahmesystem abgeschiedenen Wassermenge nicht gemessen wird;

b) nach Durchsatz gewichtete mittlere Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas $x_{dil/exh}$, wenn der Verdünnungsluftdurchsatz zur Berichtigung um 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.

▼B

3.4.3. 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 $x_{H2Oexh}$, die Verdünnungsluftfraktion im verdünnten Abgas (oder der Luftüberschuss im Rohabgas) $x_{dil/exh}$ 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 ± 0,0025 mol/mol des jeweiligen Mittelwerts. Für jede Emissionskonzentration $x$ und Wassermenge $x_{H2Oexh}$ ist die Konzentration im vollkommen trockenen Bezugszustand $x_{dry}$ und $x_{H2Oexhdry}$ zu ermitteln. Das Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis $\alpha$, das Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis $\beta$ und die Kohlenstoffmassenfraktion des Kraftstoffs $w_C$ sind ebenfalls zu verwenden. Für den Prüfkraftstoff können $\alpha$ und $\beta$ oder die Vorgabewerte gemäß Tabelle 7.3 verwendet werden.

Das chemische Gleichgewicht ist anhand der folgenden Schritte zu berechnen:

a) Gemessene Konzentrationen wie $x_{CO2meas}$, $x_{NOmeas}$, und $x_{H2Oint}$ sind in den trockenen Bezugszustand umzurechnen, indem sie durch eins abzüglich der während der jeweiligen Messung vorhandenen Wassermenge dividiert werden; zum Beispiel: $x_{H2OxCO2meas}$, $x_{H2OxNOmeas}$ und $x_{H2Oint}$. Ist die Wassermenge während einer Messung im feuchten Bezugszustand identisch mit der unbekannten Wassermenge im Abgasdurchsatz $x_{H2Oexh}$, 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 (7-82) bis (7-99) in Buchstabe d dieser Nummer sind zur iterativen Lösung für $x_{H2Oexh}$, $x_{Ccombdry}$ und $x_{dil/exh}$ in ein Computerprogramm einzugeben. Ausgangswerte für $x_{H2Oexh}$, $x_{Ccombdry}$ und $x_{dil/exh}$ 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 — zum Beispiel 0,8 — wird ebenfalls empfohlen. Die Werte im Gleichungssystem sind iterativ zu lösen, bis die zuletzt aktualisierten Schätzungen alle innerhalb von ± 1 % der jeweiligen zuletzt berechneten Werte liegen.

c) Im Gleichungssystem gemäß Buchstabe d dieser Nummer werden die nachstehenden Symbole und tiefgestellten Indizes verwendet, wobei die Einheit von $x$ mol/mol ist:

| Symbol | Beschreibung |
|---|---|
| $x_{dil/exh}$ | Menge an Verdünnungsgas oder Luftüberschuss pro Mol Abgas |
| $x_{H2Oexh}$ | Menge an $H_2O$ im Abgas pro Mol Abgas |

▼B

| Symbol | Beschreibung |
|---|---|
| $x_{Ccombdry}$ | Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas |
| $x_{H2Oexhdry}$ | 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 |
| $x_{O2intdry}$ | Menge an $O_2$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft $x_{O2intdry}$ = 0,209445 mol/mol kann angenommen werden |
| $x_{CO2intdry}$ | Menge an $CO_2$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft $x_{CO2intdry}$ = 375 µmol/mol kann angenommen werden, doch die Messung der tatsächlichen Konzentration in der Ansaugluft wird empfohlen |
| $x_{H2Ointdry}$ | Menge an $H_2O$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft |
| $x_{CO2int}$ | Menge an $CO_2$ in der Ansaugluft pro Mol Ansaugluft |
| $x_{CO2dil}$ | Menge an $CO_2$ im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas |
| $x_{CO2dildry}$ | Menge an $CO_2$ im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas. Dient Luft als Verdünnungsgas, kann $x_{CO2dildry}$ = 375 µmol/mol angenommen werden, doch die Messung der tatsächlichen Konzentration in der Ansaugluft wird empfohlen |
| $x_{H2Odildry}$ | Menge an $H_2O$ im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas |
| $x_{H2Odil}$ | Menge an $H_2O$ im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas |
| $x_{[emission]meas}$ | Menge an gemessener Emission in der Probe am jeweiligen Gasanalysator |
| $x_{[emission]dry}$ | Emissionsmenge pro Trockenmol der trockenen Probe |
| $x_{H2O[emission]meas}$ | Wassermenge in der Probe am Ort der Emissionsbestimmung. Diese Werte sind gemäß Nummer 9.3.2.3.1 zu messen oder zu schätzen |

▼B

| Symbol | Beschreibung |
|---|---|
| $x_{H2Oint}$ | Wassermenge in der Ansaugluft auf der Grundlage einer Feuchtigkeitsmessung der Ansaugluft |
| $K_{H2Ogas}$ | Ausgleichskoeffizient der Wasser-Gas-Reaktion. 3,5 oder ein anderer Wert, der nach bestem fachlichen Ermessen berechnet wird. |
| $\alpha$ | Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs ($CH_\alpha O_\beta$), gewichtet nach molarem Verbrauch |
| $\beta$ | Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs ($CH_\alpha O_\beta$), gewichtet nach molarem Verbrauch |

d) Die nachstehenden Gleichungen [(7-84) bis (7-101)] sind zur iterativen Bestimmung von $x_{dil/exh}$, $x_{H2Oexh}$ und $x_{Ccombdry}$ anzuwenden:

$$x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exhdry}}}{1 + x_{H2Oexhdry}} \tag{7-84}$$

$$x_{\text{H2Oexh}} = \frac{x_{\text{H2Oexhdry}}}{1 + x_{H2Oexhdry}} \tag{7-85}$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO2dry}} + x_{\text{COdry}} + x_{\text{THCdry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} - x_{\text{CO2int}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \tag{7-86}$$

$$x_{\text{H2dry}} = \frac{x_{\text{COdry}} \cdot (x_{\text{H2Oexhdry}} - x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}})}{K_{\text{H2Ogas}} \cdot (x_{\text{CO2dry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}})} \tag{7-87}$$

$$x_{\text{H2Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2}(x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H2Oint}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{H2dry}} \tag{7-88}$$

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{H2Oexh}} \tag{7-89}$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{O2int}}\left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 + 2\gamma\right)(x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO2dry}} + x_{\text{H2dry}})\right] \tag{7-90}$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta + \delta\right)(x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO2dry}} + x_{\text{H2dry}})\right] + x_{\text{int/exhdry}} \tag{7-91}$$

$$x_{\text{O2int}} = \frac{0{,}209820 - x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{H2Ointdry}} \tag{7-92}$$

$$x_{\text{CO2int}} = \frac{x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{H2Ointdry}} \tag{7-93}$$

$$x_{\text{H2Ointdry}} = \frac{x_{\text{H2Oint}}}{1 - x_{H2Oint}} \tag{7-94}$$

$$x_{\text{CO2dil}} = \frac{x_{\text{CO2dildry}}}{1 + x_{H2Odildry}} \tag{7-95}$$

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{H2Odil}} \tag{7-96}$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{H2OCOmeas}} \tag{7-97}$$

▼B

$$x_{\text{CO2dry}} = \frac{x_{\text{CO2meas}}}{1 - x_{\text{H2OCO2meas}}} \quad (7\text{-}98)$$

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H2ONOmeas}}} \quad (7\text{-}99)$$

$$x_{\text{NO2dry}} = \frac{x_{\text{NO2meas}}}{1 - x_{\text{H2ONO2meas}}} \quad (7\text{-}100)$$

$$x_{\text{THCdry}} = \frac{x_{\text{THCmeas}}}{1 - x_{\text{H2OTHCmeas}}} \quad (7\text{-}101)$$

Am Ende der Ermittlung des chemischen Gleichgewichts wird der Moldurchsatz gemäß den Nummern 3.5.3 und 3.6.3 ermittelt.

3.4.4. $NO_x$-Feuchtigkeitskorrektur

Alle $NO_x$-Konzentrationen, einschließlich Verdünnungsluft-Hintergrundkonzentrationen, sind mithilfe von Gleichung 7-102 oder 7-103 einer Korrektur um die Feuchtigkeit der Ansaugluft zu unterziehen:

a) für Selbstzündungsmotoren

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxuncor}} \cdot (9{,}953 \cdot x_{\text{H2O}} + 0{,}832) \quad (7\text{-}102)$$

b) für Fremdzündungsmotoren

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxuncor}} \cdot (18{,}840 \cdot x_{\text{H2O}} + 0{,}68094) \quad (7\text{-}103)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{NOxuncor}}$ = nicht korrigierte $NO_x$-Molkonzentration im Abgas [µmol/mol]

$x_{\text{H2O}}$ = Wassermenge in der Ansaugluft [mol/mol]

3.5. Emissionen von Rohabgas

3.5.1. Masse der gasförmigen Emissionen

Zur Berechnung der Gesamtmasse der gasförmigen Emission pro Prüfung $m_{\text{gas}}$ [g/test] muss die Molkonzentration mit ihrem entsprechenden Moldurchsatz und der Molmasse des Abgases multipliziert werden; anschließend erfolgt die Integration über den Prüfzyklus (Gleichung 7-104):

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot \mathrm{d}t \quad (7\text{-}104)$$

Dabei gilt:

$M_{\text{gas}}$ = Molmasse der generischen gasförmigen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exh}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$x_{\text{gas}}$ = momentane generische Molkonzentration des Gases, feucht [mol/mol]

$t$ = Zeit [s]

Da die Gleichung 7-104 durch numerische Integration zu lösen ist, wird sie in Gleichung 7-105 umgewandelt:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot \mathrm{d}t \Rightarrow \quad (7\text{-}105)$$
$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^{\text{N}} \dot{n}_{\text{exh}i} \cdot x_{\text{gas}i}$$

▼B

Dabei gilt:

$M_{gas}$ = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exhi}$ = 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/test] mithilfe von Gleichung 7-106 zu berechnen:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \cdot x_{gasi} \quad (7\text{-}106)$$

Dabei gilt:

$M_{gas}$ = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exhi}$ = 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/test] mithilfe von Gleichung 7-107 zu berechnen:

$$m_{gas} = M_{gas} \cdot \dot{n}_{exh} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \Delta t \quad (7\text{-}107)$$

Dabei gilt:

$M_{gas}$ = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exh}$ = Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{gas}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$\Delta t$ = Dauer des Prüfintervalls

c) Bei der Stichprobenahme kann die Gleichung 7-104 unabhängig davon, ob der Durchsatz variabel oder konstant ist, mithilfe von Gleichung 7-108 vereinfacht werden:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \quad (7\text{-}108)$$

Dabei gilt:

$M_{gas}$ = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exhi}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{gas}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

▼B

3.5.2. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Die Parameter für diese Nummer werden den Ergebnissen des gemäß Nummer 3.4.3 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 (Gleichungen 7-109 und 7-110):

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gas}}}{1 - x_{\text{H2O}}} \tag{7-109}$$

$$x_{\text{gas}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H2Odry}}} \tag{7-110}$$

Dabei gilt:

$x_{H2O}$ = Wassermolfraktion im gemessenen Durchsatz, feucht [mol/mol]

$x_{H2Odry}$ = Wassermolfraktion im gemessenen Durchsatz, trocken [mol/mol]

Bei gasförmigen Emissionen wird für die generische Konzentration $x$ [mol/mol] eine Korrektur für das abgeschiedene Wasser mithilfe von Gleichung 7-111 vorgenommen:

$$x = x_{\text{[emission]meas}} \left[ \frac{(1 - x_{\text{H2Oexh}})}{1 - x_{\text{H2O[emission]meas}}} \right] \tag{7-111}$$

Dabei gilt:

$x_{[emission]meas}$ = Molfraktion der Emission im gemessenen Durchsatz am Ort der Messung [mol/mol]

$x_{H2O[emission]meas}$ = Wassermenge im gemessenen Durchsatz bei der Konzentrationsmessung [mol/mol]

$x_{H2Oexh}$ = Wassermenge am Durchsatzmessgerät [mol/mol]

3.5.3. Moldurchsatz des Abgases

Der Durchsatz des Rohabgases kann direkt gemessen oder auf der Grundlage des chemischen Gleichgewichts gemäß Nummer 3.4.3 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 $\dot{n}_{exh}$ auf der Grundlage des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft $\dot{n}_{int}$ oder des gemessenen Massendurchsatzes des Kraftstoffs $\dot{m}_{fuel}$ und den mithilfe des chemischen Gleichgewichts gemäß Nummer 3.4.3 berechneten Werten ermittelt werden. Die Lösung für das chemische Gleichgewicht gemäß Nummer 3.4.3 erfolgt mit derselben Frequenz, mit der $\dot{n}_{int}$ oder $\dot{m}_{fuel}$ aktualisiert und aufgezeichnet werden.

a) Kurbelgehäuse-Durchfluss. Der Rohabgasdurchsatz kann nur dann auf der Basis von $\dot{n}_{int}$ oder $\dot{m}_{fuel}$ 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-Durchfluss hinter dem Durchsatzmessgerät für die Ansaugluft zurück in die Ansaugluft leitet;

   ii) Während der Emissionsprüfung wird der Durchsatz des offenen Kurbelgehäuses gemäß Anhang VI Nummer 6.10 in das Abgas geleitet;

▼B

iii) Emissionen und Durchsatz des offenen Kurbelgehäuses werden gemessen und zu den bremsbetriebspezifischen Emissionen hinzugerechnet;

iv) Mithilfe 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 $\dot{n}_{int}$ ist der Moldurchsatz des Abgases $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] mithilfe von Gleichung 7-112 zu berechnen:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{n}_{int}}{1 + \frac{(x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{raw/exhdry}})}{(1+x_{\text{H2Oexhdry}})}} \quad (7\text{-}112)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{exh}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]

$\dot{n}_{int}$ = Moldurchsatz der Ansaugluft einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [mol/s]

$x_{int/exhdry}$ = Menge der zur Erzeugung tatsächlicher Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{raw/exhdry}$ = Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{H2Oexhdry}$ = Wassermenge im Abgas pro Trockenmol trockenes Abgas [mol/mol]

c) Berechnung des Moldurchsatzes auf der Basis des Massendurchsatzes des Kraftstoffs

Auf der Grundlage von $\dot{m}_{fuel}$ ist der Moldurchsatz des Abgases $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] wie folgt zu berechnen:

Bei Laborprüfungen kann diese Berechnung nur für Einzelphasen-NRSC oder RMC verwendet werden (Gleichung 7-113).

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{m}_{fuel} \cdot (1 + x_{H2Oexhdry})}{M_C \cdot x_{Ccombdry}} \quad (7\text{-}113)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{exh}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden

$\dot{m}_{fuel}$ = Kraftstoffdurchsatz einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [g/s]

$w_C$ = Kohlenstoffmassenfraktion des jeweiligen Kraftstoffs [g/g]

$x_{H2Oexhdry}$ = 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]

▼B

d) Berechnung des Moldurchsatzes des Abgases auf der Grundlage des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft, des Moldurchsatzes des verdünnten Abgases und des chemischen Gleichgewichts in verdünntem Zustand

Der Moldurchsatz des Abgases $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] kann auf der Grundlage des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft $\dot{n}_{int}$ oder des gemessenen Moldurchsatzes des verdünnten Abgases $\dot{n}_{dexh}$ und den mithilfe des chemischen Gleichgewichts gemäß Nummer 3.4.3 errechneten Werten ermittelt werden. Das chemische Gleichgewicht muss auf den Konzentrationen des verdünnten Abgases beruhen. Für Berechnungen des kontinuierlichen Durchsatzes ist das chemische Gleichgewicht gemäß Nummer 3.4.3 mit derselben Frequenz zu lösen, mit der $\dot{n}_{int}$ oder $\dot{n}_{dexh}$ aktualisiert und aufgezeichnet werden. Der so errechnete Wert $\dot{n}_{dexh}$ kann für die Überprüfung des PM-Verdünnungsverhältnisses, die Berechnung des Moldurchsatzes der Verdünnungsluft bei der Hintergrundkorrektur nach Nummer 3.6.1 und für die Berechnung der Emissionsmasse nach Nummer 3.5.1 für im Rohabgas gemessene Spezies verwendet werden.

Auf der Grundlage des Moldurchsatzes des verdünnten Abgases und der Ansaugluft ist der Moldurchsatz des Abgases $\dot{n}$ [mol/s] wie folgt zu berechnen:

$$\dot{n}_{exh} = (x_{raw/exhdry} - x_{int/exhdry}) \cdot (1 - x_{H2Oexh}) \cdot \dot{n}_{dexh} + \dot{n}_{int} \qquad (7\text{-}114)$$

wobei gilt:

$\dot{n}_{exh}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]

$x_{int/exhdry}$ = Menge der zur Erzeugung der tatsächlichen Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{raw/exhdry}$ = Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{H2Oexh}$ = Wassermenge im Abgas pro Mol Abgas [mol/mol]

$\dot{n}_{dexh}$ = Moldurchsatz des verdünnten Abgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]

$\dot{n}_{int}$ = Moldurchsatz der Ansaugluft einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [mol/s]

3.6. Verdünnte gasförmige Emissionen

3.6.1. Berechnung der Emissionsmasse und Hintergrundkorrektur

Die Masse der gasförmigen Emissionen $m_{gas}$ [g/test] ist als Funktion der Moldurchsätze der Emissionen wie folgt zu berechnen:

a) Kontinuierliche Probenahme, variabler Durchsatz, zu berechnen mithilfe von Gleichung 7-106:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \cdot x_{gasi} \qquad \text{[see equation (7-106)]}$$

Dabei gilt:

$M$gas = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exhi}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$x_{gasi}$ = momentane generische Molkonzentration des Gases, feucht [mol/mol]

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

$N$ = Zahl der Messungen [-]

▼B

Kontinuierliche Probenahme, konstanter Durchsatz, zu berechnen mithilfe von Gleichung 7-107:

$$m_{gas} = M_{gas} \cdot \dot{n}_{exh} \cdot \overline{x}_{gas} \cdot \Delta t \qquad \text{(siehe Gleichung 7-107)}$$

Dabei gilt:

$M$gas = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exh}$ = Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\overline{x}_{gas}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$\Delta$t = Dauer des Prüfintervalls

b) Bei der Stichprobenahme ist unabhängig davon, ob der Durchsatz variabel oder konstant ist, Gleichung 7-108 anzuwenden:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \overline{x}_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \qquad \text{(siehe Gleichung 7-108)}$$

Dabei gilt:

$M$gas = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{exhi}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\overline{x}_{gas}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

c) Bei verdünntem Abgas 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 $\dot{n}_{airdil}$ [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 $\overline{x}_{dil/exh}$ 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 verhältnisgleich 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 wird die Gesamtmasse der Hintergrundemission anhand des Durchsatzes der Verdünnungsluft $n_{airdil}$ berechnet. Die Masse der Hintergrundemission wird von der Gesamtmasse abgezogen. Das Ergebnis wird für bremsspezifische Emissionsberechnungen verwendet.

▼B

vi) Der Gesamtdurchsatz der Verdünnungsluft kann aus dem Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases und dem chemischen Gleichgewicht von Kraftstoff, Ansaugluft und Abgas gemäß Nummer 3.4 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 $\overline{x}_{dil/exh}$ multipliziert.

Unter Berücksichtigung der beiden Fälle v und vi sind die Gleichungen 7-115 und 7-116 anzuwenden:

$$m_{bkgnd} = M_{gas} \cdot x_{gasdil} \cdot n_{airdil} \text{ oder} \quad (7\text{-}115)$$
$$m_{bkgnd} = M_{gas} \cdot \overline{x}_{dil/exh} \cdot \overline{x}_{bkgnd} \cdot n_{dexh}$$

$$m_{gascor} = m_{gas} - m_{bkgnd} \quad (7\text{-}116)$$

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]

$\overline{x}_{dil/exh}$ = nach Durchsatz gewichtete mittlere Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas [mol/mol]

$\overline{x}_{bkgnd}$ = Gasfraktion der Hintergrundemission [mol/mol]

$n_{dexh}$ = Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases [mol]

3.6.2. 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 (Nummer 3.5.2). Für Verdünnungsluft wird eine Feuchtigkeitsmessung zur Berechnung der Wasserdampffraktion $x_{H2Odildry}$ [mol/mol] mithilfe von Gleichung 7-96 durchgeführt:

$$x_{H2Odildry} = \frac{x_{H2Odil}}{1 - x_{H2Odil}} \quad \text{(siehe Gleichung 7-96)}$$

Dabei gilt:

$x_{H2Odil}$ = Wassermolfraktion im Verdünnungsluftdurchsatz [mol/mol]

3.6.3. Moldurchsatz des Abgases

a) Berechnung mittels des chemischen Gleichgewichts

Der Moldurchsatz $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] kann auf der Basis des Massendurchsatzes des Kraftstoffs $\dot{m}_{fuel}$ mithilfe von Gleichung 7-113 berechnet werden:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{m}_{fuel} \cdot w_{C} \cdot (1 + x_{H2Oexhdry})}{M_{C} \cdot x_{Ccombdry}} \quad \text{(siehe Gleichung 7-113)}$$

▼B

Dabei gilt:

$\dot{n}_{exh}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden

$\dot{m}_{fuel}$ = Kraftstoffdurchsatz einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [g/s]

$w_C$ = Kohlenstoffmassenfraktion des jeweiligen Kraftstoffs [g/g]

$x_{H2Oexhdry}$ = 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]

b) Messung

Der Moldurchsatz des Abgases kann mithilfe 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 berechnete entsprechende Steigung $a_1$ und der Achsabschnitt $a_0$ [-] zur Ermittlung des Moldurchsatzes $\dot{n}$ [mol/s] mithilfe von Gleichung 7-117 herangezogen:

$$\dot{n} = f_{n,PDP} \cdot \frac{p_{in} \cdot V_{rev}}{R \cdot T_{in}} \quad (7\text{-}117)$$

Dabei gilt:

$$V_{rev} = \frac{a_1}{f_{n,PDP} \cdot \sqrt{\frac{p_{out} - p_{in}}{p_{in}}} + a_0} \quad (7\text{-}118)$$

Dabei gilt:

$a_1$ = 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 [rev/s]

ii) SSV-Moldurchsatz. Auf der Basis der gemäß Anlage 1 ermittelten Gleichung für $C_d$ bezogen auf $R_e^{\#}$ ist der Moldurchsatz des subsonischen Venturirohrs (SSV) während einer Emissionsprüfung $\dot{n}$ [mol/s] mithilfe von Gleichung 7-119 zu berechnen:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (7\text{-}119)$$

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

▼B

$M_{mix}$ = 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 ermittelte Konstanten zu verwenden. Der Moldurchsatz $\dot{n}$ [mol/s] während einer Emissionsprüfung ist mithilfe von Gleichung 7-120 zu berechnen:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (7\text{-}120)$$

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 [-]

3.7. Partikelbestimmung

3.7.1. Probenahme

a) Probenahme aus einem variablen Durchsatz:

Bei der Stichprobenahme aus einem variablen Abgasdurchsatz muss eine zum veränderlichen Abgasdurchsatz verhältnisgleiche Probe entnommen werden. Der Durchsatz wird über ein Prüfintervall integriert, um den Gesamtdurchsatz zu ermitteln. Zur Berechnung der PM-Gesamtmasse $m_{PM}$ [g] ist mithilfe von Gleichung 7-121 die mittlere PM-Konzentration $\overline{M}_{PM}$ (die bereits in Einheiten der Masse pro Mol der Probe angegeben ist) mit dem Gesamtdurchsatz zu multiplizieren:

$$m_{PM} = \overline{M}_{PM} \cdot \sum_{i=1}^{N} (\dot{n}_i \cdot \Delta t_i) \quad (7\text{-}121)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_i$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases [mol/s]

$\overline{M}_{PM}$ = mittlere PM-Konzentration [g/mol]

$\Delta t_i$ = 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 mithilfe von Gleichung 7-122 mit dem Gesamtdurchsatz zu multiplizieren:

$$m_{PM} = \overline{M}_{PM} \cdot \dot{n} \cdot \Delta t \quad (7\text{-}122)$$

▼B

Dabei gilt:

$\dot{n}$ = Moldurchsatz des Abgases [mol/s]

$\overline{M}_{PM}$ = mittlere PM-Konzentration [g/mol]

$\Delta t$ = Dauer des Prüfintervalls [s]

Bei der Probenahme mit einem konstanten Verdünnungsverhältnis (*DR*) wird $m_{PM}$ [g] mithilfe von Gleichung 7-123 berechnet:

$$m_{PM} = m_{PMdil} \cdot DR \tag{7-123}$$

Dabei gilt:

$m_{PMdil}$ = Partikelmasse in der Verdünnungsluft [g]

*DR* = Verdünnungsverhältnis [-], definiert als Verhältnis zwischen der Masse der Emission *m* und der Masse des verdünnten Abgases $m_{dil/exh}$ ($DR = m/m_{dil/exh}$)

Das Verdünnungsverhältnis *DR* kann als Funktion von $x_{dil/exh}$ ausgedrückt werden (Gleichung 7-124):

$$DR = \frac{1}{1 - x_{dil/exh}} \tag{7-124}$$

3.7.2. Hintergrundkorrektur

Zur Hintergrundkorrektur der Partikelmasse ist der in Nummer 3.6.1 beschriebene Ansatz anzuwenden. Durch Multiplikation von $\overline{M}_{PMbkgnd}$ 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 Partikelmasse $m_{PMcor}$ [g] ermittelt (Gleichung 7-125):

$$m_{PMcor} = m_{PMuncor} - \overline{M}_{PMbkgnd} \cdot n_{airdil} \tag{7-125}$$

Dabei gilt:

$m_{PMuncor}$ = nicht korrigierte Partikelmasse [g]

$\overline{M}_{PMbkgnd}$ = mittlere PM-Konzentration in der Verdünnungsluft [g/mol]

$n_{airdil}$ = Moldurchsatz der Verdünnungsluft [mol]

3.8. Zyklusarbeit und spezifische Emissionen

3.8.1. Gasförmige Emissionen

3.8.1.1. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Für Rohabgas bzw. verdünntes Abgas wird auf die Nummern 3.5.1 bzw. 3.6.1 verwiesen. Die resultierenden Werte für die Leistung $P_i$ [kW] werden über ein Prüfintervall integriert. Die Gesamtarbeit $W_{act}$ [kWh] ist mithilfe von Gleichung 7-126 zu berechnen:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^{N} P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^{N} (n_i \cdot T_i) \tag{7-126}$$

Dabei gilt:

$P_i$ = momentane Motorleistung [kW]

$n_i$ = momentane Motordrehzahl [rpm]

$T_i$ = momentanes Motordrehmoment [N·m]

▼B

$W_{act}$ = tatsächliche Zyklusarbeit [kWh]

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

Wurden gemäß Anhang VI Anlage 2 Hilfseinrichtungen angebracht, so wird das momentane Motordrehmoment in Gleichung 7-126 nicht angepasst. Wurden nach Anhang VI Nummern 6.3.2 und 6.3.3 dieser Verordnung anzubringende Hilfseinrichtungen nicht installiert, oder sind Hilfseinrichtungen angebracht, die für die Prüfung ausgebaut werden sollten, ist der in Gleichung 7-126 verwendete Wert $T_i$ mithilfe von Gleichung 7-127 zu korrigieren:

$$T_i = T_{i,meas} + T_{i,AUX} \quad (7\text{-}127)$$

Dabei gilt:

$T_{i,meas}$ = Messwert des momentanen Motordrehmoments

$T_{i,AUX}$ = entsprechender Wert für das Drehmoment, der für den Betrieb von Hilfseinrichtungen nach Anhang VI Nummer 7.7.2.3.2 dieser Verordnung bestimmt wurde

Die spezifischen Emissionen $e_{gas}$ [g/kWh] sind in Abhängigkeit von der Art des Prüfzyklus wie folgt zu berechnen.

$$e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \quad (7\text{-}128)$$

Dabei gilt:

$m_{gas}$ = Gesamtmasse der Emission [g/test]

$W_{act}$ = Zyklusarbeit [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis $e_{gas}$ [g/kWh] für andere gasförmige Emissionen als $CO_2$ ein gewichteter Durchschnittswert aus dem Prüflauf mit Kaltstart und dem Prüflauf mit Warmstart, berechnet mithilfe der Gleichung 7-129:

$$e_{gas} = \frac{(0{,}1 \cdot m_{cold}) + (0{,}9 \cdot m_{hot})}{(0{,}1 \cdot W_{actcold}) + (0{,}9 \cdot W_{acthot})} \quad (7\text{-}129)$$

Dabei gilt:

$m_{cold}$ die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [g]

$W_{act,\ cold}$ die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [kWh]

$m_{hot}$ die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{act,\ hot}$ die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis $e_{CO2}$ [g/kWh] für $CO_2$ aus dem NRTC mit Warmstart mithilfe von Gleichung 7-130 zu berechnen:

$$e_{CO2,hot} = \frac{m_{CO2,hot}}{W_{act,hot}} \quad (7\text{-}130)$$

Dabei ist:

$m_{CO2,\ hot}$ die $CO_2$-Emissionsmenge bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{act,\ hot}$ die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

▼B

3.8.1.2. Einzelphasen-NRSC

Die spezifischen Emissionen $e_{gas}$ [g/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-131 zu berechnen:

$$e_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (\dot{m}_{gasi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7\text{-}131)$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_{gas,i}$ = mittlerer Massendurchsatz der Emission für die Prüfphase $i$ [g/h]

$P_i$ = Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{mi} + P_{auxi}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

3.8.2. Partikelemissionen

3.8.2.1. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Die partikelspezifischen Emissionen sind durch Umwandlung von Gleichung 7-128 in Gleichung 7-132 zu berechnen, wobei $e_{gas}$ [g/kWh] bzw. $m_{gas}$ [g/test] durch $e_{PM}$ [g/kWh] bzw. $m_{PM}$ [g/test] ersetzt werden:

$$e_{PM} = \frac{m_{PM}}{W_{act}} \quad (7\text{-}132)$$

Dabei gilt:

$m_{PM}$ = Gesamtmasse der Partikelemission, berechnet gemäß Nummer 3.7.1 [g/test]

$W_{act}$ = Zyklusarbeit [kWh]

Die Emissionen während des dynamischen Kombinationszyklus (d. h. NRTC mit Kaltstart und NRTC mit Warmstart) sind gemäß Nummer 3.8.1.1 zu berechnen.

3.8.2.2. Einzelphasen-NRSC

Die partikelspezifische Emission $e_{PM}$ [g/kWh] ist wie folgt zu berechnen:

3.8.2.2.1. Für das Einfachfilterverfahren mithilfe von Gleichung 7-133:

$$e_{PM} = \frac{\dot{m}_{PM}}{\sum_{i=1}^{N} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7\text{-}133)$$

Dabei gilt:

$P_i$ = Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{mi} + P_{auxi}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

$\dot{m}_{PM}$ = Partikelmassendurchsatz [g/h]

3.8.2.2.2. Für das Mehrfachfilterverfahren mithilfe von Gleichung 7-134:

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\dot{m}_{PMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7\text{-}134)$$

▼B

Dabei gilt:

$P_i$ = Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{mi} + P_{auxi}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ = Wichtungsfaktor für die Prüfphase $i$ [-]

$\dot{m}_{PMi}$ = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase $i$ [g/h]

Bei der Einfachfiltermethode ist der effektive Wichtungsfaktor $WF_{effi}$ für jede Prüfphase mithilfe von Gleichung 7-135 zu berechnen:

$$WF_{effi} = \frac{m_{smpldexhi} \cdot \overline{\dot{m}_{eqdexhwet}}}{m_{smpldex} \cdot \dot{m}_{eqdexhweti}} \quad (7\text{-}135)$$

Dabei gilt:

$m_{smpldexhi}$ = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den 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]

$\overline{\dot{m}_{eqdexhwet}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]

Der Wert der effektiven Wichtungsfaktoren darf von den Werten der in Anhang XVII Anlage 1 aufgeführten Wichtungsfaktoren um höchstens 0,005 (absoluter Wert) abweichen.

3.8.3. Anpassungen bei Emissionsminderungssystemen mit sporadischer (periodischer) Regenerierung

Mit Ausnahme der Motoren der Klasse RLL sind für Motoren, die mit einem Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer (periodischer) Regenerierung (siehe Anhang VI Nummer 6.6.2) ausgestattet sind, die nach Nummer 3.8.1 und 3.8.2 berechneten spezifischen Emissionen für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel entweder anhand des einschlägigen multiplikativen Anpassungsfaktors oder des einschlägigen additiven Anpassungsfaktors zu korrigieren. Fand während der Prüfung keine sporadische Regenerierung statt, so ist der aufwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{ru,m}$ oder $k_{ru,a}$). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{rd,m}$ oder $k_{rd,a}$). Beim Einzelphasen-NRSC, für den für jede Prüfphase Anpassungsfaktoren bestimmt wurden, werden diese bei der Berechnung des gewichteten Emissionsergebnisses auf jede Phase angewendet.

3.8.4. Anpassungen bei Verschlechterungsfaktoren

Die gemäß Nummer 3.8.1 und 3.8.2 berechneten spezifischen Emissionen für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel, gegebenenfalls einschließlich des Anpassungsfaktors nach Nummer 3.8.3 bei sporadischer Regenerierung, sind ebenfalls anhand des nach den Anforderungen des Anhangs III bestimmten einschlägigen multiplikativen oder additiven Verschlechterungsfaktors zu korrigieren.

3.9. Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS) und damit verbundene Berechnungen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Berechnungen zur Kalibrierung verschiedener Durchsatzmessgeräte. Nummer 3.9.1 enthält eine Beschreibung der Umrechnung der Messwerte des Bezugsdurchsatzmessgeräts zur Verwendung in den molbasierten Kalibriergleichungen. Die weiteren Nummern betreffen die Kalibrierungsberechnungen für bestimmte Arten von Durchsatzmessgeräten.

▼B

3.9.1. Umrechnung der Messungen von Bezugsmesseinrichtungen

Die Kalibriergleichungen in diesem Abschnitt nutzen den Moldurchsatz $\dot{n}_{ref}$ als Bezugsgröße. Misst die verwendete Bezugsmesseinrichtung den Durchsatz in einer anderen Messgröße, wie dem Standard-Volumendurchsatz $\dot{V}_{stdref}$, dem tatsächlichen Volumendurchsatz $\dot{V}_{actdref}$ oder dem Massendurchsatz $\dot{m}_{ref}$, werden die Messwerte der Referenzmesseinrichtungen mithilfe der Gleichungen 7-136, 7-137 und 7-138 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:

$$\dot{n}_{ref} = \frac{\dot{V}_{stdref} \cdot p_{std}}{T_{std} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{actref} \cdot p_{act}}{T_{act} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{ref}}{M_{mix}} \quad (7\text{-}136)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{ref}$ = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

$\dot{V}_{stdref}$ = Bezugsvolumendurchsatz, korrigiert auf einen Standarddruck und eine Standardtemperatur [$m^3$/s]

$\dot{V}_{actref}$ = Bezugsvolumendurchsatz beim tatsächlichen Druck und der tatsächlichen Temperatur [$m^3$/s]

$\dot{m}_{ref}$ = 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]

3.9.2. PDP-Kalibrierungsberechnungen

Für jede Begrenzerposition sind die nachstehenden Werte aus den gemäß Anhang VI Nummer 8.1.8.4 ermittelten Mittelwerten wie folgt zu berechnen:

a) PDP-Volumendurchsatz je Umdrehung $V_{rev}$ ($m^3$/rev):

$$V_{rev} = \frac{\overline{\dot{n}_{ref}} \cdot R \cdot \overline{T}_{in}}{\overline{p}_{in} \cdot \overline{f}_{nPDP}} \quad (7\text{-}137)$$

Dabei gilt:

$\overline{\dot{n}}_{ref}$ = Mittelwert des Bezugsmoldurchsatzes [mol/s]

$R$ = molare Gaskonstante [J/(mol · K)]

$\overline{T}_{in}$ = mittlere Eintrittstemperatur [K]

$\overline{P}_{in}$ = mittlerer Eintrittsdruck [Pa]

$\overline{f}_{nPDP}$ = mittlere Drehzahl [rev/s]

b) Korrekturfaktor für PDP-Verlust $K_s$ [s/rev]:

$$K_s = \frac{1}{\overline{f}_{nPDP} \cdot \sqrt{\frac{\overline{p}_{out} - \overline{p}_{in}}{\overline{p}_{out}}}} \quad (7\text{-}138)$$

Dabei gilt:

$\overline{\dot{n}}_{ref}$ = mittlerer Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

▼B

$\overline{T}_{in}$ = mittlere Eintrittstemperatur [K]

$\overline{P}_{in}$ = mittlerer Eintrittsdruck [Pa]

$\overline{P}_{out}$ = mittlerer Austrittsdruck [Pa]

$\overline{f}_{nPDP}$ = mittlere PDP-Drehzahl [rev/s]

$R$ = molare Gaskonstante [J/(mol · K)]

c) durch Berechnung der Steigung $a_1$ und des Achsabschnitts $a_0$ gemäß Anlage 4 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 dieser Nummer ist für jede Drehzahl, mit der die PDP betrieben wird, zu wiederholen;

e) Tabelle 7.4 zeigt die Berechnungen für unterschiedliche Werte von $\overline{f}_{nPDP}$:

*Tabelle 7.4*

**Beispiel für PDP-Kalibrierdaten**

| $\overline{f}_{nPDP}$[rev/min] | $\overline{f}_{nPDP}$[rev/s] | $a_1$ [m³/min] | $a_1$ [m³/s] | $a_0$ [m³/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 Nummer 3.6.3 Buchstabe b heranzuziehen.

3.9.3. 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 mithilfe 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 Nummer 3.9.3 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 $\gamma$ 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 $\gamma$ als Funktion der gemessenen Drücke und Temperaturen angewendet oder es können einschlägige Kalibriergleichungen entwickelt werden. Der Moldurchsatz des Abgases $\dot{n}$ [mol/s] ist mithilfe von Gleichung 7-139 zu berechnen:

▼B

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (7\text{-}139)$$

Dabei gilt:

$C_d$ = gemäß Nummer 3.9.3 Buchstabe a ermittelter Durchflusskoeffizient [-]

$C_f$ = gemäß Nummer 3.9.3 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 mithilfe der gemäß Anhang VI Nummer 8.1.8.4 gesammelten Daten anhand von Gleichung 7-140 berechnet:

$$C_d = \dot{n}_{ref} \cdot \frac{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{in}} \quad (7\text{-}140)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{ref}$ = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

Für die anderen Symbole siehe Gleichung 7-139.

b) $C_f$ wird anhand eines der folgenden Verfahren berechnet:

i) Ausschließlich bei CFV-Durchsatzmessgeräten wird $C_{fCFV}$ aus der Tabelle 7.5 auf der Grundlage der Werte für $\beta$ (Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Venturieinschnürung und dem Durchmesser des Eintritts) und $\gamma$ (spezifisches Wärmeverhältnis des Gasgemischs) abgeleitet, wobei Zwischenwerte durch lineare Interpolation zu bestimmen sind:

*Tabelle 7.5*

**$C_{fCFV}$ bezogen auf $\beta$ und $\gamma$ für CFV-Durchsatzmessgeräte**

| $C_{fCFV}$ | | |
|---|---|---|
| $\beta$ | $\gamma_{exh}$=1,385 | $\gamma_{dexh}$= $\gamma_{air}$=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 |

▼B

| $C_{fCFV}$ | | |
|---|---|---|
| $\beta$ | $\gamma_{exh}$=1,385 | $\gamma_{dexh}$= $\gamma_{air}$=1,399 |
| 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 |
| 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 $C_f$ mithilfe von Gleichung 7-141 berechnet werden:

$$C_f = \left[\frac{2 \cdot \gamma \cdot (r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)}{(\gamma - 1) \cdot (\beta^4 - r^{\frac{-2}{\gamma}})}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (7\text{-}141)$$

Dabei gilt:

$\gamma$ = 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 dieser Nummer ermitteltes Druckverhältnis

$\beta$ = Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Venturieinschnürung und dem Durchmesser des Eintritts

c) Das Druckverhältnis $r$ ist wie folgt zu berechnen:

i) Ausschließlich bei SSV-Systemen wird $r_{SSV}$ mithilfe von Gleichung 7-142 berechnet:

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{p_{in}} \quad (7\text{-}142)$$

Dabei gilt:

$\Delta p_{ssv}$ = statischer Differenzdruck; Venturieintritt abzüglich Venturieinschnürung [Pa]

ii) Ausschließlich bei CFV-Systemen wird $r_{CFV}$ iterativ mithilfe von Gleichung 7-143 berechnet:

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left(\frac{\gamma - 1}{2}\right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma + 1}{2} \quad (7\text{-}143)$$

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:

i) 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: $Z = 1$

▼B

ii) Innerhalb des gesamten Rohabgasbereichs kann ein konstantes spezifisches Wärmeverhältnis von $\gamma$ = 1,385 angenommen werden.

iii) 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.

iv) Innerhalb des gesamten Bereichs von verdünntem Abgas und Luft kann die Molmasse des Gemischs $M_{mix}$ [g/mol] rein als Funktion der Wassermenge $x_{H2O}$ in der Verdünnungsluft oder Kalibrierluft gemäß Nummer 3.3.2 ermittelt und mithilfe von Gleichung 7-144 berechnet werden:

$$M_{mix} = M_{air} \cdot (1 - x_{H2O}) + M_{H2O} \cdot (x_{H2O}) \quad (7\text{-}144)$$

Dabei gilt:

$M_{air}$ = 28,96559 g/mol

$M_{H2O}$ = 18,01528 g/mol

$x_{H2O}$ = 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 um nicht mehr als ± 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 Tabelle 7.6 enthält Beispiele für zulässige Bereiche des Taupunkts der Verdünnungsluft bezogen auf den Taupunkt der Kalibrierluft.

*Tabelle 7.6*

**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] |
|---|---|---|
| dry | 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.

▼B

3.9.4. 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 (Gleichung 7-145). Da zur Berechnung von $Re^{\#}$ die dynamische Viskosität $\mu$ benötigt wird, kann nach bestem fachlichen Ermessen ein spezifisches Viskositätsmodell zur Ermittlung von $\mu$ für das Kalibriergas (in der Regel Luft) herangezogen werden (Gleichung 7-146). Alternativ kann zur Annäherung an $\mu$ auch das Viskositätsmodell nach Sutherland mit drei Koeffizienten verwendet werden (siehe Tabelle 7.7):

$$Re^{\#} = \frac{4 \cdot M_{mix} \cdot \dot{n}_{ref}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (7\text{-}145)$$

Dabei gilt:

$d_t$ = Durchmesser der SSV-Einschnürung [m]

$M_{mix}$ = Molmasse des Gemischs [kg/mol]

$\dot{n}_{ref}$ = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

und unter Verwendung des Viskositätsmodells nach Sutherland mit drei Koeffizienten:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_{in}}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 + S}{T_{in} + S}\right) \quad (7\text{-}146)$$

Dabei gilt:

$\mu$ = dynamische Viskosität des Kalibriergases [kg/(m·s)]

$\mu_0$ = 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 7.7*

**Parameter des Viskositätsmodells nach Sutherland mit drei Koeffizienten**

| Gas (a) | $\mu_0$ | $T_0$ | S | Temperaturbereich innerhalb eines Fehlers von ± 2 % | Druckgrenzwert |
|---|---|---|---|---|---|
| | kg /(m · s) | K | K | K | kPa |
| Luft | $1{,}716 \times 10^{-5}$ | 273 | 111 | 170 bis 1 900 | ≤ 1 800 |
| $CO_2$ | $1{,}370 \times 10^{-5}$ | 273 | 222 | 190 bis 1 700 | ≤ 3 600 |
| $H_2O$ | $1{,}12 \times 10^{-5}$ | 350 | 1 064 | 360 bis 1 500 | ≤ 10 000 |
| $O_2$ | $1{,}919 \times 10^{-5}$ | 273 | 139 | 190 bis 2 000 | ≤ 2 500 |
| $N_2$ | $1{,}663 \times 10^{-5}$ | 273 | 107 | 100 bis 1 500 | ≤ 1 600 |

(a) Es sind die aufgeführten, nur für reine Gase geltenden Tabellenwerte zu verwenden. Die Parameter dürfen zur Berechnung der Viskosität von Gasgemischen nicht kombiniert werden.

▼B

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 7-140 berechnet, wobei $C_f$ Gleichung 7-141 entnommen wird, oder es kann stattdessen ein beliebiger mathematischer Ausdruck einschließlich einer Polynom- oder Potenzreihe verwendet werden. Bei Gleichung 7-147 handelt es sich um ein Beispiel für einen gängigen mathematischen Ausdruck, der dazu dient, $C_d$ und $Re^{\#}$ miteinander in Beziehung zu setzen

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re}} \qquad (7\text{-}147)$$

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 Anlage 3 vorgenommen;

iv) erfüllt die Gleichung die Kriterien $SEE < 0{,}5\ \%\ n_{ref\ max}$ (oder $\dot{m}_{refmax}$) und $r^2 \geq 0{,}995$, kann die Gleichung zur Ermittlung von $C_d$ für Emissionsprüfungen gemäß Nummer 3.6.3 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.

3.9.5. CFV-Kalibrierung

a) 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 $A_t$, die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der aktiven Durchmesser der Venturieinschnürungen als $d_t$ und das Verhältnis zwischen den Venturieinschnürungen und den Eintrittsdurchmessern als Verhältnis zwischen der Venturieinschnürung und dem Eintrittsdurchmesser als Verhältnis zwischen der Quadratwurzel aus der Summe der aktiven Durchmesser der Venturieinschnürungen ($d_t$) 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:

▼B

i) Mit den bei jedem Einstellwert der Kalibrierung gesammelten Daten ist anhand der Gleichung 7-140 für jeden Punkt ein eigener Wert $C_d$ zu berechnen;

ii) die mittlere und die Standardabweichung aller $C_d$-Werte sind anhand der Gleichungen 7-155 und 7-156 zu berechnen;

iii) ist die Standardabweichung aller $C_d$-Werte kleiner oder gleich 0,3 % des Mittelwerts von $C_d$, wird in Gleichung 7-120 der Mittelwert von $C_d$ eingesetzt und die CFV-Werte dürfen nur bis zum niedrigsten während der Kalibrierung gemessenen Wert $r$ verwendet werden;

$$r = 1 - (\Delta p/p_{in}) \quad (7\text{-}148)$$

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 $C_d$-Werte, 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 7-120 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 e Ziffern 4 bis 8 dieser Nummer zu wiederholen.

▼B

*Anlage 1*

**Driftkorrektur**

1. **Umfang und Häufigkeit**

Mithilfe 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 Anhang VI Nummer 8.2.2.2 angegeben.

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 der 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:

3. **Driftvalidierung**

Nach der Anwendung aller anderen Korrekturen — mit Ausnahme der Driftkorrektur — auf alle Gasanalysatorsignale werden die bremsspezifischen Emissionen gemäß Nummer 3.8 berechnet. Anschließend wird die Drift aller Gasanalysatorsignale gemäß dieser Anlage korrigiert. Die bremsspezifischen Emissionen sind unter Verwendung aller driftkorrigierten Gasanalysatorsignale neu zu berechnen. Die bremsspezifischen Emissionsergebnisse sind vor und nach der Driftkorrektur gemäß Anhang VI Nummer 8.2.2.2 zu validieren und anzugeben.

4. **Driftkorrektur**

Alle Gasanalysatorsignale sind folgendermaßen zu korrigieren:

a) Jede aufgezeichnete Konzentration $x_i$ ist für die kontinuierliche Probenahme oder für die Stichprobenahme $\bar{x}$zu korrigieren;

b) Die Driftkorrektur ist mithilfe von Gleichung 7-149 zu berechnen:

$$x_{i\text{driftcor}} = x_{\text{refzero}} + (x_{\text{refspan}} - x_{\text{refzero}}) \frac{2x_i - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})}{(x_{\text{prespan}} + x_{\text{postspan}}) - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})} \quad (7\text{-}149)$$

Dabei gilt:

$x_{i\text{driftcor}}$ = driftkorrigierte Konzentration [µmol/mol]

$x_{\text{refzero}}$ = Bezugswert der Konzentration des Nullgases; in der Regel null, es sei denn, ein anderer Wert ist bekannt [µmol/mol]

$x_{\text{refspan}}$ = Bezugswert der Konzentration des Justiergases [µmol/mol]

$x_{\text{prespan}}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration vor dem Prüfintervall [µmol/mol]

$x_{\text{postspan}}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration nach dem Prüfintervall [µmol/mol]

$x_i$ oder $\bar{x}$ = während der Prüfung vor der Driftkorrektur aufgezeichnete, d. h. gemessene Konzentration [µmol/mol]

▼B

$x_{prezero}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration vor dem Prüfintervall [µmol/mol]

$x_{postzero}$ = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration nach dem Prüfintervall [µmol/mol]

c) 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;

d) 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: $x_{prespan} = x_{refspan}$;

f) wird das Ansprechverhalten des Analysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration $x_{prezero}$ vor dem Prüfintervall nicht aufgezeichnet, ist $x_{prezero}$ gleich dem Bezugswert der Konzentration des Nullgases zu setzen: $x_{prezero} = x_{refzero}$;

g) in der Regel beträgt der Bezugswert der Konzentration des Nullgases $x_{refzero}$ null: $x_{refzero} = 0$ µmol/mol. In manchen Fällen kann jedoch bekannt sein, dass $x_{refzero}$ eine andere Konzentration als null aufweist. Wird beispielsweise ein $CO_2$-Analysator mithilfe von Umgebungsluft genullt, kann die $CO_2$-Standardkonzentration von Umgebungsluft, die 375 µmol/mol entspricht, verwendet werden. In diesem Fall gilt: $x_{refzero} = 375$ µmol/mol. Wird ein Analysator mithilfe eines Werts $x_{refzero}$ genullt, der nicht null entspricht, muss der Analysator so eingestellt werden, dass die tatsächliche xrefzero-Konzentration ermittelt wird. Ist beispielsweise $x_{refzero} = 375$ µmol/mol, muss der Analysator den Wert 375 µmol/mol ausgeben, wenn das Nullgas in den Analysator geleitet wird.

▼B

*Anlage 2*

**Prüfung des Kohlenstoffdurchsatzes**

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 $CO_2$ feststellbar. Dies bildet die Grundlage für eine Überprüfung des Systems anhand von $CO_2$-Messungen. Bei Fremdzündungsmotoren ohne Kontrolle des Luftüberschussfaktors λ oder Fremdzündungsmotoren mit einem Betriebsbereich außerhalb von $0{,}97 \leq \lambda \leq 1{,}03$ sind während des Verfahrens zusätzlich auch HC und CO zu messen.

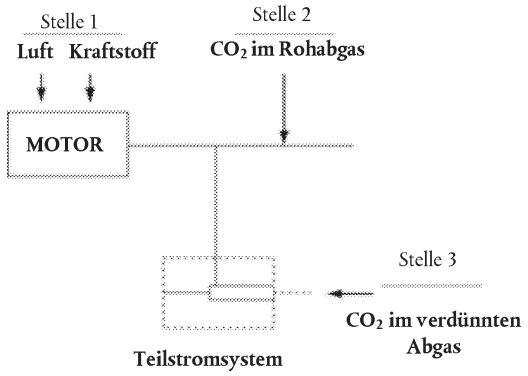
Der Kohlenstoffdurchsatz in die Abgasmesssysteme hinein wird aufgrund des Kraftstoffdurchsatzes ermittelt. An mehreren Probenahmestellen innerhalb der Probenahmesysteme für Emissionen und Partikel wird der Kohlenstoffdurchsatz anhand der Konzentration des $CO_2$ (oder $CO_2$, HC und CO) und der Gasdurchsätze 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 Abbildung 7.1 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 7.1*

**Messstellen für die Überprüfung des Kohlenstoffdurchsatzes**




2. **Kohlenstoffdurchsatz am Motoreintritt (Stelle 1)**

Der Kohlenstoff-Massendurchsatz in den Motor $q_{mCf}$ [kg/s] für einen Kraftstoff $CH\alpha O\varepsilon$ ist mithilfe von Gleichung 7-150 zu berechnen:

$$q_{mCF} = \frac{12{,}011}{12{,}011 + \alpha + 15{,}9994 \cdot \varepsilon} \cdot g_{mf} \qquad (7\text{-}150)$$

Dabei gilt:

$q_{mf}$ = Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]

▼B

3. **Kohlenstoffdurchsatz im Rohabgas (Stelle 2)**

3.1. Auf der Grundlage von $CO_2$

Der Kohlenstoffmassendurchsatz im Auspuffrohr des Motors $q_{mCe}$ [kg/s] wird aus der $CO_2$-Konzentration im Rohabgas und dem Massendurchsatz des Abgases mithilfe von Gleichung 7-151 bestimmt.

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO2,r} - c_{CO2,a}}{100}\right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12{,}011}{M_e} \qquad (7\text{-}151)$$

Dabei gilt:

$c_{CO2,r}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ im Rohabgas [ %]

$c_{CO2,a}$ = 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 Bezugszustand gemessen, so ist sie nach Nummer 2.1.3 oder Nummer 3.5.2 in den feuchten Bezugszustand umzurechnen.

3.2. Auf der Grundlage von $CO_2$, HC und CO

Alternativ zur Durchführung der Berechnung ausschließlich auf Grundlage von $CO_2$ nach Nummer 3.1 wird der Kohlenstoffmassendurchsatz im Auspuffrohr des Motors $q_{mCe}$ [kg/s] aus der $CO_2$-, HC- und CO-Konzentration im Rohabgas und dem Massendurchsatz des Abgases mithilfe von Gleichung 7-152 bestimmt.

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO2,r} - c_{CO2,a}}{100} + \frac{c_{THC(C1),r} - c_{THC(C1),a}}{100} + \frac{c_{CO,r} - c_{CO,a}}{100}\right) \cdot q_{mew} \frac{12{,}011}{M_e} \qquad (7\text{-}152)$$

Dabei gilt:

$c_{CO2,r}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ im Rohabgas [ %]

$c_{CO2,a}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ in der Umgebungsluft [ %]

$c_{THC(C1),r}$ = THC(C1)-Konzentration im Rohabgas [ %]

$c_{THC(C1),a}$ = THC(C1)-Konzentration in der Umgebungsluft [ %]

$c_{CO,r}$ = Konzentration des feuchten CO im Rohabgas [ %]

$c_{CO,a}$ = Konzentration des feuchten CO in der Umgebungsluft [ %]

$q_{mew}$ = Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

$M_e$ = Molmasse des Abgases [g/mol]

Wird die $CO_2$- oder die CO-Konzentration für den trockenen Bezugszustand gemessen, so ist sie nach Nummer 2.1.3 oder Nummer 3.5.2 in den feuchten Bezugszustand umzurechnen.

▼B

4. **Kohlenstoffdurchsatz im Verdünnungssystem (Stelle 3)**

4.1. Auf der Grundlage von $CO_2$

Bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem ist auch das Teilungsverhältnis zu berücksichtigen. Der Kohlenstoffdurchsatz in einem äquivalenten Verdünnungssystem $q_{m\mathrm{Cp}}$ [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 $q_{m\mathrm{dew}}/q_{m\mathrm{p}}$ entspricht die neue Gleichung 7-153 der Gleichung 7-151.

$$q_{m\mathrm{Cp}} = \left(\frac{c_{\mathrm{CO2,d}} - c_{\mathrm{CO2,a}}}{100}\right) \cdot q_{m\mathrm{ew}} \cdot \frac{12{,}011}{M_{\mathrm{e}}} \cdot \frac{q_{m\mathrm{dew}}}{q_{m\mathrm{p}}} \qquad (7\text{-}153)$$

Dabei gilt:

$c_{\mathrm{CO2,d}}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [ %]

$c_{\mathrm{CO2,a}}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ in der Umgebungsluft [ %]

$q_{m\mathrm{dew}}$ = Durchsatz der verdünnten Probe im Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]

$q_{m\mathrm{ew}}$ = Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

$q_{m\mathrm{p}}$ = Abgasprobenstrom in das Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]

$M_{\mathrm{e}}$ = Molmasse des Abgases [g/mol]

Wird die $CO_2$-Konzentration für den trockenen Bezugszustand gemessen, so ist sie nach Nummer 2.1.3 oder Nummer 3.5.2 in den feuchten Bezugszustand umzurechnen.

4.2. Auf der Grundlage von $CO_2$, HC und CO

Bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem ist auch das Teilungsverhältnis zu berücksichtigen. Alternativ zur Durchführung der Berechnung ausschließlich auf Grundlage von $CO_2$ nach Nummer 4.1 wird der Kohlenstoffdurchsatz in einem äquivalenten Verdünnungssystem $q_{m\mathrm{Cp}}$ [kg/s] (d. h. einem zu einem Vollstromsystem äquivalenten System, in dem der Gesamtdurchsatz verdünnt wird) aus der verdünnten $CO_2$-, HC- und CO-Konzentration, dem Massendurchsatz des Abgases und dem Probendurchsatz bestimmt; mit Ausnahme des Verdünnungsfaktors $q_{m\mathrm{dew}}/q_{m\mathrm{p}}$ entspricht die neue Gleichung 7-154 der Gleichung 7-152.

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO2,d} - c_{CO2,a}}{100} + \frac{c_{THC(C1),d} - c_{THC(C1),a}}{100} + \frac{c_{CO,d} - c_{CO,a}}{100}\right) \cdot q_{mew} \frac{12{,}011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}} \qquad (7\text{-}154)$$

Dabei gilt:

$c_{\mathrm{CO2,d}}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [ %]

$c_{\mathrm{CO2,a}}$ = Konzentration des feuchten $CO_2$ in der Umgebungsluft [ %]

$c_{\mathrm{THC(C1),d}}$ = THC(C1)-Konzentration im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [ %]

$c_{\mathrm{THC(C1),a}}$ = THC(C1)-Konzentration in der Umgebungsluft [ %]

$c_{\mathrm{CO,d}}$ = Konzentration des feuchten CO im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [ %]

$c_{\mathrm{CO,a}}$ = Konzentration des feuchten CO in der Umgebungsluft [ %]

▼B

$q_{mdew}$ = 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 $CO_2$- oder die CO-Konzentration für den trockenen Bezugszustand gemessen, so ist sie nach Nummer 2.1.3 oder Nummer 3.5.2 dieses Anhangs in den feuchten Bezugszustand umzurechnen.

5. **Berechnung der Molmasse des Abgases**

Die Molmasse des Abgases ist mithilfe von Gleichung 7-13) siehe Nummer 2.1.5.2 dieses Anhangs) zu berechnen.

Alternativ kann mit folgenden Molmassen des Abgases gerechnet werden:

$M_e$ (Diesel) = 28,9 g/mol

$M_e$ (Flüssiggas/LPG) = 28,6 g/mol

$M_e$ (Erdgas/Biomethan) = 28,3 g/mol

$M_e$ (Benzin) = 29,0 g/mol

▼B

*Anlage 3*

**Statistiken**

1. **Arithmetisches Mittel**

Der arithmetische Mittelwert $\bar{y}$ist mithilfe von Gleichung 7-155 zu berechnen:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N} \tag{7-155}$$

2. **Standardabweichung**

Die Standardabweichung für eine erwartungstreue (*z. B. N*–1) Probe σ ist mithilfe von Gleichung 7-156 zu berechnen:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} \tag{7-156}$$

3. **Quadratischer Mittelwert**

Der quadratische Mittelwert $rms_y$ ist mithilfe von Gleichung 7-157 zu berechnen:

$$rms_y = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i^2} \tag{7-157}$$

4. **t-Test**

Anhand der nachstehenden Gleichungen und der Tabelle 7.8 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 *v* mithilfe von Gleichung 7-158 und 7-159 zu berechnen:

$$t = \frac{|\bar{y}_{ref} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{ref}^2}{N_{ref}} + \frac{\sigma_y^2}{N}}} \tag{7-158}$$

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_{ref}^2}{N_{ref}} + \frac{\sigma_y^2}{N}\right)^2}{\frac{(\sigma_{ref}^2/N_{ref})^2}{N_{ref}-1} + \frac{(\sigma_y^2/N)^2}{N-1}} \tag{7-159}$$

b) Für einen abhängigen *t*-Test ist die *t*-Statistik und ihre Anzahl von Freiheitsgraden *v* mithilfe von Gleichung 7-160 zu berechnen, wobei zu beachten ist, dass es sich bei $\varepsilon_i$ um die Fehler (z. B. Differenzen) zwischen jedem Paar $y_{refi}$ und $y_i$ handelt;

$$t = \frac{|\bar{\varepsilon}| \cdot \sqrt{N}}{\sigma_\varepsilon} \qquad v = N - 1 \tag{7-160}$$

c) Tabelle 7.8 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 7.8*

**Kritische *t*-Werte bezogen auf die Anzahl der Freiheitsgrade *v***

| *v* | Konfidenz | |
|---|---|---|
| | 90 % | 95 % |
| 1 | 6,314 | 12,706 |
| 2 | 2,920 | 4,303 |
| 3 | 2,353 | 3,182 |

▼B

| *v* | Konfidenz | |
|---|---|---|
| 4 | 2,132 | 2,776 |
| 5 | 2,015 | 2,571 |
| 6 | 1,943 | 2,447 |
| 7 | 1,895 | 2,365 |
| 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 |
| 1 000+ | 1,645 | 1,960 |

Nicht angeführte Werte sind durch lineare Interpolation zu bestimmen.

5. **F-Test**

Die *F*-Statistik ist mithilfe von Gleichung 7-161 zu berechnen:

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \tag{7-161}$$

a) Für einen *F*-Test mit einem Konfidenzniveau von 90 % dient Tabelle 7.9 zum Abgleich der Werte *F* und $F_{\text{crit90}}$ bezogen auf (*N*-1) und ($N_{\text{ref}}$-1). Liegt der Wert *F* niedriger als der Wert $F_{\text{crit90}}$, hat *F* dem *F*-Test mit einem Konfidenzniveau von 90 % standgehalten

▼B

b) Für einen *F*-Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % dient Tabelle 7.10 zum Abgleich der Werte $F$ und $F_{crit95}$ bezogen auf ($N$-1) und ($N_{ref}$-1). Liegt der Wert $F$ niedriger als der Wert $F_{crit95}$, hat $F$ dem *F*-Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % standgehalten

6. **Steigung**

Die Steigung der Regressionsgeraden $a_{1y}$ ist mithilfe von Gleichung 7-162 zu berechnen:

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \overline{y}) \cdot (y_{refi} - \overline{y}_{ref})}{\sum_{i=1}^{N}(y_{refi} - \overline{y}_{ref})^2} \quad (7\text{-}162)$$

7. **Achsabschnitt**

Der Achsabschnitt der Regressionsgeraden $a_{0y}$ ist mithilfe von Gleichung 7-163 zu berechnen:

$$a_{0y} = \overline{y} - (a_{1y} \cdot \overline{y}_{ref}) \quad (7\text{-}163)$$

8. **Standardfehler des Schätzwerts**

Der Standardfehler des Schätzwerts ist mithilfe von Gleichung 7-164 zu berechnen:

$$SEE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{refi})\right]^2}{N - 2}} \quad (7\text{-}164)$$

9. **Bestimmungskoeffizient**

Der Bestimmungskoeffizient $r^2$ ist mithilfe von Gleichung 7-165 zu berechnen:

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{refi})\right]^2}{\sum_{i=1}^{N}[y_i - \overline{y}]^2} \quad (7\text{-}165)$$

▼B

*Anlage 4*

**INTERNATIONALE SCHWEREFORMEL VON 1980**

Die Erdbeschleunigung $a_g$ unterscheidet sich abhängig vom jeweiligen Ort und ist für den entsprechenden Breitengrad mithilfe von Gleichung 7-166 zu berechnen:

$$a_g = 9{,}7803267715\ [1 + 5{,}2790414 \times 10^{-3} \sin^2 \theta + 2{,}32718 \times 10^{-5} \sin^4 \theta + 1{,}262 \times 10^{-7} \sin^6 \theta + 7 \times 10^{-10} \sin^8 \theta] \quad (7\text{-}166)$$

Dabei gilt:

$\theta$ = Grad nördlicher oder südlicher Breite

▼B

*Anlage 5*

**Berechnung der Partikelzahl**

1. **Bestimmung der Partikelzahl**

1.1. Zeitabgleich

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen ist die Verweilzeit im System zur Partikel-Probenahme und -Messung durch einen Zeitabgleich des Signals der Partikelzahl mit dem Prüfzyklus und dem Wert des Massendurchsatzes des Abgases gemäß dem in Anhang VI Nummer 8.2.1.2 beschriebenen Verfahren nachzuweisen. Die Wandlungszeit des Systems zur Partikel-Probenahme und -Messung ist gemäß Anhang VI Anlage 1 Nummer 2.1.3.7 zu bestimmen.

1.2. Bestimmung der Partikelzahl für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem

Wird für die Partikel-Probenahme ein Teilstrom-Verdünnungssystem gemäß den Spezifikationen nach Anhang VI Nummer 9.2.3 verwendet, so ist die Anzahl der im Prüfzyklus abgegebenen Partikel mithilfe der Gleichung 7-167 zu berechnen:

$$N = \frac{m_{edf}}{1{,}293} \cdot k \cdot \overline{c}_s \cdot \overline{f}_r \cdot 10^6 \qquad (7\text{-}167)$$

Dabei ist:

$N$ die Anzahl der im Prüfzyklus abgegebenen Partikel [#/test]

$m_{edf}$ die nach Gleichung 7-45 (Nummer 2.3.1.1.2) bestimmte Masse des äquivalenten verdünnten Abgases über den Zyklus [kg/test]

$k$ der Kalibrierfaktor zur Berichtigung der Messungen des Partikelzählers in Bezug auf die Normalmesseinrichtung, falls dies nicht automatisch im Partikelzähler erfolgt. Wird der Kalibrierfaktor automatisch im Partikelzähler angewendet, so ist in Gleichung 7-167 für $k$ der Wert 1 zu verwenden.

$\overline{c_s}$ die durchschnittliche, in Bezug auf die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte Konzentration der Partikel aus dem verdünnten Abgas, Partikel pro Kubikzentimeter

$\overline{f_r}$ der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Wobei:

$$\overline{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \qquad (7\text{-}168)$$

Dabei ist:

$c_{s,I}$ eine diskrete und in Bezug auf die Koinzidenz und die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte, durch den Partikelzähler erfolgende Messung der Partikelkonzentration im verdünnten Abgas, Partikel pro Kubikzentimeter

$n$ die Anzahl der über die gesamte Prüfdauer erfolgten Messungen der Partikelkonzentration

▼B

1.3. Bestimmung der Partikelzahl für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem

Wird für die Partikel-Probenahme ein Vollstrom-Verdünnungssystem gemäß den Spezifikationen nach Anhang VI Nummer 9.2.2 verwendet, so ist die Anzahl der im Prüfzyklus abgegebenen Partikel mithilfe der Gleichung 7-169 zu berechnen:

$$N = \frac{m_{edf}}{1{,}293} \cdot k \cdot \overline{c}_s \cdot \overline{f}_r \cdot 10^6 \qquad (7\text{-}169)$$

Dabei ist:

$N$ die Anzahl der im Prüfzyklus abgegebenen Partikel [#/test]

$m_{ed}$ der Gesamtdurchfluss des verdünnten Abgases im Zyklus, berechnet nach einem der in Anhang VII, Nummern 2.2.4.1 bis 2.2.4.3 beschriebenen Verfahren, kg/test

$k$ der Kalibrierfaktor zur Berichtigung der Messungen des Partikelzählers in Bezug auf die Normalmesseinrichtung, falls dies nicht automatisch im Partikelzähler erfolgt Wird der Kalibrierfaktor automatisch im Partikelzähler angewendet, so ist in Gleichung 7-169 für $k$ der Wert 1 zu verwenden.

$\overline{c_s}$ die durchschnittliche, in Bezug auf die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte Konzentration der Partikel aus dem verdünnten Abgas, Partikel pro Kubikzentimeter

$\overline{f_r}$ der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Wobei:

$$\overline{c} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \qquad (7\text{-}170)$$

Dabei ist:

$c_{s,I}$ eine diskrete und in Bezug auf die Koinzidenz und die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte, durch den Partikelzähler erfolgende Messung der Partikelkonzentration im verdünnten Abgas, Partikel pro Kubikzentimeter

$n$ die Anzahl der über die gesamte Prüfdauer erfolgten Messungen der Partikelkonzentration

1.4. Bestimmung der Partikelzahl für Einzelphasen-NRSC mit einem Teilstrom-Verdünnungssystem

Wird für die Partikel-Probenahme ein Teilstrom-Verdünnungssystem nach Anhang VI Nummer 9.2.3 verwendet, so ist gemäß den Spezifikationen der Partikelemissionsdurchsatz während jeder Einzelphase unter Verwendung der Durchschnittswerte für die Phase mithilfe von Gleichung 7-171 zu berechnen:

$$\dot{N} = \frac{q_{medf}}{1{,}293} \times k \times \overline{c}_s \times \overline{f}_r \times 10^6 \times 3\,600 \qquad (7\text{-}171)$$

Dabei ist:

$\dot{N}$ der Partikel-Emissionswert während einer Einzelphase [#/h]

$q_{medf}$ der nach Gleichung 7-51 (Nummer 2.3.2.1) bestimmte äquivalente Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, während einer Einzelphase, kg/s

▼B

$k$ der Kalibrierfaktor zur Berichtigung der Messungen des Partikelzählers in Bezug auf die Normalmesseinrichtung, falls dies nicht automatisch im Partikelzähler erfolgt Wird der Kalibrierfaktor automatisch im Partikelzähler angewendet, so ist in Gleichung 1-171 für $k$ der Wert 1 zu verwenden.

$\overline{c_s}$ die durchschnittliche, in Bezug auf die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte Konzentration der Partikel aus dem verdünnten Abgas während einer Einzelphase, Partikel/$cm^3$

$\overline{f_r}$ der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Dabei gilt:

$$\overline{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \qquad (7\text{-}172)$$

Dabei ist:

$c_{s,I}$ eine diskrete und in Bezug auf die Koinzidenz und die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte, durch den Partikelzähler erfolgende Messung der Partikelkonzentration im verdünnten Abgas, Partikel pro Kubikzentimeter

$n$ die Anzahl der während der Einzelphasen-Prüfungen erfolgten Messungen der Partikelkonzentration

1.5. Bestimmung der Partikelzahl für Einzelphasen-Prüfzyklen mit einem Vollstrom-Verdünnungssystem

Wird für die Partikel-Probenahme ein Vollstrom-Verdünnungssystem gemäß den Spezifikationen nach Anhang VI Nummer 9.2.2 verwendet, so ist der Partikelemissionsdurchsatz während jeder Einzelphase unter Verwendung der Durchschnittswerte für die Phase mithilfe von Gleichung 7-173 zu berechnen:

$$\dot{N} = \frac{q_{mdew}}{1{,}293} \times k \times \overline{c}_s \times \overline{f}_r \times 10^6 \times 3\ 600 \qquad (7\text{-}173)$$

Dabei ist:

$\dot{N}$ der Partikel-Emissionswert während einer Einzelphase [#/h]

$q_{mdew}$ der momentane Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, während einer Einzelphase [kg/s]

$k$ der Kalibrierfaktor zur Berichtigung der Messungen des Partikelzählers in Bezug auf die Normalmesseinrichtung, falls dies nicht automatisch im Partikelzähler erfolgt Wird der Kalibrierfaktor automatisch im Partikelzähler angewendet, so ist in Gleichung 7-173 für $k$ der Wert 1 zu verwenden.

$\overline{c_s}$ durchschnittliche, in Bezug auf die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte Konzentration der Partikel aus dem verdünnten Abgas während einer Einzelphase, Partikel/$cm^3$

$\overline{f_r}$ Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

▼B

Wobei:

$$\overline{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7\text{-}174)$$

Dabei ist:

$c_{s,I}$ eine diskrete und in Bezug auf die Koinzidenz und die Standardbedingungen (273,2 K und 101,33 kPa) berichtigte, durch den Partikelzähler erfolgende Messung der Partikelkonzentration im verdünnten Abgas, Partikel pro Kubikzentimeter

$n$ die Anzahl der während der Einzelphasen-Prüfungen erfolgten Messungen der Partikelkonzentration

2. **Prüfergebnis**

2.1. Berechnung der spezifischen Emissionen für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Für jede einschlägige RMC-Prüfung, NRTC-Prüfung mit Warmstart und NRTC-Prüfung mit Kaltstart sind die spezifischen Emissionen als Anzahl der Partikel/kWh mithilfe von Gleichung 7-175 zu berechnen:

$$e = \frac{N}{W_{act}} \quad (7\text{-}175)$$

Dabei gilt:

$N$ Anzahl der im jeweiligen RMC, NRTC-Prüflauf mit Warmstart oder NRTC-Prüflauf mit Kaltstart abgegebenen Partikel

$W_{act}$ tatsächliche Zyklusarbeit nach Anhang VI Nummer 7.8.3.4 [kWh]

Für RMC-Prüfungen sind die spezifischen Emissionen bei einem Motor mit sporadischer (periodischer) Regenerierung des Abgasnachbehandlungssystems (siehe Anhang VI Nummer 6.6.2) entweder anhand des einschlägigen multiplikativen Anpassungsfaktors oder des einschlägigen additiven Anpassungsfaktors zu korrigieren. Fand während der Prüfung keine sporadische Regenerierung statt, so ist der aufwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{\mathrm{ru,m}}$ oder $k_{\mathrm{ru,a}}$). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{\mathrm{rd,m}}$ oder $k_{\mathrm{rd,a}}$).

Bei RMC ist das Endergebnis außerdem mit dem gemäß Anhang III bestimmten einschlägigen multiplikativen oder additiven Verschlechterungsfaktor zu korrigieren.

2.1.1. Gewichtetes mittleres NRTC-Prüfergebnis

Für den NRTC ist das endgültige Prüfergebnis ein gewichteter Mittelwert aus dem Prüflauf mit Kaltstart und dem Prüflauf mit Warmstart (und gegebenenfalls sporadischer Regenerierung), berechnet mithilfe von Gleichung 7-176 oder 7-177:

a) bei multiplikativer Anpassung wegen Regenerierung oder bei Motoren ohne Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer Regenerierung

$$e = k_r \left( \frac{(0{,}1 \times N_{cold}) + (0{,}9 \times N_{hot})}{(0{,}1 \times W_{act,cold}) + (0{,}9 \times W_{act,hot})} \right) \quad (7\text{-}176)$$

bei additiver Anpassung wegen Regenerierung

$$e = k_r + \left( \frac{(0{,}1 \times N_{cold}) + (0{,}9 \times N_{hot})}{(0{,}1 \times W_{act,cold}) + (0{,}9 \times W_{act,hot})} \right) \quad (7\text{-}177)$$

▼B

Dabei ist:

$N_{cold}$ die Gesamtzahl der im NRTC-Prüflauf mit Kaltstart abgegebenen Partikel

$N_{hot}$ die Gesamtzahl der im NRTC-Prüflauf mit Warmstart abgegebenen Partikel

$W_{act,cold}$ die tatsächliche Zyklusarbeit im NRTC mit Kaltstart nach Anhang VI Nummer 7.8.3.4 [kWh]

$W_{act,\ hot}$ die tatsächliche Zyklusarbeit im NRTC mit Warmstart nach Anhang VI Nummer 7.8.3.4 [kWh]

$k_r$ die Anpassung wegen Regenerierung gemäß Anhang VI Nummer 6.6.2 oder bei Motoren ohne Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer Regenerierung ist $k_r = 1$

Fand während der Prüfung keine sporadische Regenerierung statt, so ist der aufwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{ru,m}$ oder $k_{ru,a}$). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{rd,m}$ oder $k_{rd,a}$).

Das Ergebnis ist, gegebenenfalls einschließlich des Anpassungsfaktors für sporadische Regenerierung, außerdem mit dem gemäß Anhang III bestimmten einschlägigen multiplikativen oder additiven Verschlechterungsfaktor zu korrigieren.

2.2. Berechnung der spezifischen Emissionen für Einzelphasen-NRSC-Prüfungen

Die spezifischen Emissionen $e$ [#/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-178 zu berechnen:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (\dot{N}_i \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot WF_i)} \qquad (7\text{-}178)$$

Dabei ist:

$P_i$ die Motorleistung für die Prüfphase $i$ [kW] mit $P_i = P_{m,i} + P_{auxi}$ (siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$ der Wichtungsfaktor für die Prüfphase i [-]

$\dot{N}_i$ der mittlere Partikelzahl-Durchsatz i [#/h] gemäß Gleichung 7-171 oder 7-173, abhängig vom Verdünnungsverfahren

Bei einem Motor mit sporadischer (periodischer) Regenerierung des Abgasnachbehandlungssystems (siehe Anhang VI Nummer 6.6.2) sind die spezifischen Emissionen entweder anhand des einschlägigen multiplikativen Anpassungsfaktors oder des einschlägigen additiven Anpassungsfaktors zu korrigieren. Fand während der Prüfung keine sporadische Regenerierung statt, so ist der aufwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{ru,m}$ oder $k_{ru,a}$). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ($k_{rd,m}$ oder $k_{rd,a}$). Wurden für jede Prüfphase Anpassungsfaktoren bestimmt, werden diese bei der Berechnung des gewichteten Emissionsergebnisses nach Gleichung 7-178 auf jede Phase angewendet.

Das Ergebnis ist, gegebenenfalls einschließlich des Anpassungsfaktors für sporadische Regenerierung, außerdem mit dem gemäß den Anforderungen nach Anhang III bestimmten einschlägigen multiplikativen oder additiven Verschlechterungsfaktor zu korrigieren.

▼B

2.3. Runden von Endergebnissen

Die endgültigen NRTC- und die gewichteten mittleren NRTC-Prüfergebnisse sind in einem Schritt auf drei signifikante Stellen gemäß ASTM E 29–06B zu runden. Es ist zulässig, Zwischenwerte, aus denen die endgültigen bremsspezifischen Emissionen errechnet werden, nicht zu runden.

2.4. Bestimmung des Hintergrunds der Partikelzahl

2.4.1. Auf Antrag des Motorenherstellers kann vor oder nach der Prüfung an einer Stelle, die sich hinter dem Partikel- und Kohlenwasserstofffilter befindet, eine Probenahme der Hintergrundkonzentration der Partikelzahl im Verdünnungstunnel in die Partikelzahl-Messeinrichtung erfolgen, um die Hintergrundkonzentration der Partikelzahl im Verdünnungstunnel zu bestimmen.

2.4.2. Die Subtraktion der Hintergrundkonzentrationen der Partikelzahl im Verdünnungstunnel ist für die Typgenehmigung nicht erlaubt; sie kann aber auf Antrag des Herstellers und nach der vorherigen Zustimmung der Genehmigungsbehörde für die Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion verwendet werden, wenn nachgewiesen wird, dass der Beitrag des Tunnelhintergrunds signifikant ist; dieser kann dann von den im verdünnten Abgas gemessenen Werten abgezogen werden.

▼B

*Anlage 6*

**Berechnung der Ammoniak-Emissionen**

1. **Berechnung der mittleren Konzentration für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC**

Die mittlere $NH_3$-Konzentration im Abgas über den Prüfzyklus $c_{NH3}$ [ppm] ist durch Integrieren der momentanen Werte über den Zyklus zu bestimmen. Es ist Gleichung 7-179 zu verwenden:

$$c_{NH3} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} c_{NH3,i} \quad (7\text{-}179)$$

Dabei ist:

$c_{NH3,i}$ die momentane $NH_3$-Konzentration im Abgas [ppm]

n die Anzahl der Messungen

Für die NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis mithilfe von Gleichung 7-180 zu berechnen:

$$c_{NH3} = (0{,}1 \times c_{NH3,cold}) + (0{,}9 \times c_{NH3,hot}) \quad (7\text{-}180)$$

Dabei ist:

$c_{NH3,cold}$ die mittlere $NH_3$-Konzentration bei NRTC mit Kaltstart [ppm]

$c_{NH3,hot}$ die mittlere $NH_3$-Konzentration bei NRTC mit Warmstart [ppm]

2. **Berechnung der mittleren Konzentration für Einzelphasen-NRSC-Prüfungen**

Die mittlere $NH_3$-Konzentration im Abgas über den Prüfzyklus $c_{NH3}$ ist durch Messung der mittleren Konzentration für jede Phase und die Wichtung des Ergebnisses mithilfe der für den Prüfzyklus geltenden Wichtungsfaktoren zu bestimmen. Es ist Gleichung 7-181 zu verwenden:

$$c_{NH3} = \sum_{i=1}^{N_{mode}} \overline{c}_{NH3,i} \cdot WF_i \quad (7\text{-}181)$$

Dabei ist:

$\overline{c}_{NH3,i}$ die durchschnittliche $NH_3$-Konzentration im Abgas in der Prüfphase i [ppm]

$N_{mode}$ die Anzahl der Phasen im Prüfzyklus

$WF_i$ der Wichtungsfaktor für die Prüfphase i [-]

▼B

*ANHANG VIII*

**Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Zweistoffmotoren**

1. **Geltungsbereich**

Die Bestimmungen dieses Anhangs gelten für Zweistoffmotoren im Sinne von Artikel 3 Absatz 18 der Verordnung (EU) 2016/1628 im Zweistoffbetrieb, d. h., wenn diese gleichzeitig mit einem flüssigen und einem gasförmigen Kraftstoff betrieben werden.

Dieser Anhang gilt nicht für die Prüfung von Motoren, einschließlich Zweistoffmotoren, wenn diese ausschließlich mit flüssigen oder ausschließlich mit gasförmigen Kraftstoffen betrieben werden, (d. h., wenn das Gas-Energie-Verhältnis GER je nach Art des Kraftstoffs entweder 1 oder 0 ist). In diesem Fall gelten die gleichen Anforderungen wie für Einstoffmotoren.

Die Typgenehmigung von Motoren, die gleichzeitig mit einer Kombination von mehr als einem flüssigen und einem gasförmigen Kraftstoff oder einem flüssigen und mehr als einem gasförmigen Kraftstoff betrieben werden, erfolgt nach dem Verfahren für neue Techniken oder neue Konzepte gemäß Artikel 33 der Verordnung (EU) 2016/1628.

2. **Begriffsbestimmungen und Abkürzungen**

Für die Zwecke dieses Anhangs bezeichnet der Begriff

2.1. „GER (Gas Energy Ratio — Gas-Energie-Verhältnis)“ den in Artikel 3 Absatz 20 der Verordnung (EU) 2016/1628 definierten Begriff, und zwar auf der Grundlage des unteren Heizwerts;

2.2. „$GER_{cycle}$“ das durchschnittliche GER, wenn der Motor im anzuwendenden Motorprüfzyklus betrieben wird;

2.3. „Zweistoffmotor des Typs 1A“ entweder

a) einen Zweistoffmotor einer Unterklasse von NRE $19 \leq kW \leq 560$, der im NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$) betrieben wird, im Leerlauf nicht ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben wird und der über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt, oder

b) einen Zweistoffmotor einer beliebigen (Unter-)Klasse außer einer Unterklasse von NRE $19 \leq kW \leq 560$, der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRSC} \geq 0{,}9$) betrieben wird, im Leerlauf nicht ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben wird und über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt;

2.4. „Zweistoffmotor des Typs 1B“ entweder

a) einen Zweistoffmotor einer Unterklasse von NRE $19 \leq kW \leq 560$, der im NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$) betrieben wird, im Zweistoffbetrieb im Leerlauf nicht ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben wird und über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt, oder

b) einen Zweistoffmotor einer beliebigen (Unter-)Klasse außer einer Unterklasse von NRE $19 \leq kW \leq 560$, der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRSC} \geq 0{,}9$) betrieben wird, im Zweistoffbetrieb im Leerlauf nicht ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben wird und über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt;

▼B

2.5. „Zweistoffmotor des Typs 2A“ entweder

a) einen Zweistoffmotor einer Unterklasse von NRE 19 ≤ kW ≤ 560, der im NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis zwischen 10 % und 90 % ($0{,}1 < GER_{NRTC,\ hot} < 0{,}9$) betrieben wird und über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt oder der im NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$), im Leerlauf aber ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben wird und über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt, oder

b) einen Zweistoffmotor einer beliebigen (Unter-)Klasse außer einer Unterklasse von NRE 19 ≤ kW ≤ 560, der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis zwischen 10 % und 90 % ($0{,}1 < GER_{NRSC} < 0{,}9$) betrieben wird und über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt oder der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRSC} \geq 0{,}9$), im Leerlauf aber ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben wird und über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt;

2.6. „Zweistoffmotor des Typs 2B“ entweder

a) einen Zweistoffmotor einer Unterklasse von NRE 19 ≤ kW ≤ 560, der im NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis zwischen 10 % und 90 % ($0{,}1 < GER_{NRTC,\ hot} < 0{,}9$) betrieben wird und über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt oder der im NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$) betrieben wird, über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt, aber im Zweistoffbetrieb im Leerlauf ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben werden kann, oder

b) einen Zweistoffmotor einer beliebigen (Unter-)Klasse außer einer Unterklasse von NRE 19 ≤ kW ≤ 560, der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis zwischen 10 % und 90 % ($0{,}1 < GER_{NRSC} < 0{,}9$) betrieben wird und über keine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt oder der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % ($GER_{NRSC} \geq 0{,}9$) betrieben wird, über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt, aber im Zweistoffbetrieb im Leerlauf ausschließlich mit flüssigem Kraftstoff betrieben werden kann;

2.7. „Zweistoffmotor des Typs 3B“ entweder

a) einen Zweistoffmotor einer Unterklasse von NRE 19 ≤ kW ≤ 560, der im NRTC mit Warmstart mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von höchstens 10 % ($GER_{NRTC,\ hot} \leq 0{,}1$) betrieben wird und über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt, oder

b) einen Zweistoffmotor einer beliebigen (Unter-)Klasse außer einer Unterklasse von NRE 19 ≤ kW ≤ 560, der über den NRSC mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von höchstens 10 % ($GER_{NRSC} \leq 0{,}1$) betrieben wird und über eine Betriebsart für flüssigen Kraftstoff verfügt.

3. **Zweistoffspezifische zusätzliche Genehmigungsanforderungen**

3.1. Motoren mit regulierbarem $GER_{cycle}$

Kann bei bestimmten Motortypen der Wert von $GER_{cycle}$ durch eine vom Bedienpersonal regulierbare Steuerung vom Höchstwert herabgesetzt werden, so darf der Mindestwert von $GER_{cycle}$ nicht begrenzt sein, sondern der Motor muss die Emissionsgrenzwerte bei jedem vom Hersteller zugelassenen Wert von $GER_{cycle}$ einhalten können.

▼B

4. **Allgemeine Anforderungen**

4.1. Betriebsarten von Zweistoffmotoren

4.1.1. Bedingungen für den Flüssigkraftstoffbetrieb von Zweistoffmotoren

Der Flüssigkraftstoffbetrieb eines Zweistoffmotors ist nur zulässig, wenn dieser hierfür im Hinblick auf sämtliche Anforderungen dieser Verordnung in Bezug auf den ausschließlichen Betrieb mit dem angegebenen Flüssigkraftstoff zertifiziert ist.

Im Falle eines Zweistoffmotors, der eine Weiterentwicklung eines bereits genehmigten Flüssigkraftstoffmotors darstellt, wird ein neuer Typgenehmigungsbogen für den Flüssigkraftstoffbetrieb erforderlich.

4.1.2. Bedingungen für den ausschließlichen Flüssigkraftstoffbetrieb eines Zweistoffmotors im Leerlauf

4.1.2.1. Bei Zweistoffmotoren des Typs 1A ist ein ausschließlicher Flüssigkraftstoffbetrieb im Leerlauf nur unter den in Nummer 4.1.3 genannten Bedingungen für das Warmlaufen und den Start zulässig.

4.1.2.2. Bei Zweistoffmotoren des Typs 1B ist ein ausschließlicher Flüssigkraftstoffbetrieb im Leerlauf nicht zulässig.

4.1.2.3. Bei Zweistoffmotoren der Typen 2A, 2B und 3B ist ein ausschließlicher Flüssigkraftstoffbetrieb im Leerlauf zulässig.

4.1.3. Bedingungen für den ausschließlichen Flüssigkraftstoffbetrieb eines Zweistoffmotors während des Warmlaufens und beim Start

4.1.3.1. Bei Zweistoffmotoren der Typen 1B, 2B oder 3B ist ein ausschließlicher Flüssigkraftstoffbetrieb während des Warmlaufens und beim Start zulässig. Ist die Emissionsminderungsstrategie für das Warmlaufen oder den Start im Zweistoffbetrieb mit der entsprechenden Emissionsminderungsstrategie im Flüssigkraftstoffbetrieb identisch, so ist der Zweistoffbetrieb während des Warmlaufens und beim Start zulässig. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so darf der Motor nur im Flüssigkraftstoffbetrieb ausschließlich mit Flüssigkraftstoff warmlaufen oder gestartet werden.

4.1.3.2. Bei Zweistoffmotoren der Typen 1A oder 2A ist ein ausschließlicher Flüssigkraftstoffbetrieb während des Warmlaufens und beim Start zulässig. In diesem Fall ist jedoch AECS als Strategie zu wählen, und die folgenden zusätzlichen Anforderungen müssen erfüllt sein:

4.1.3.2.1. Die Strategie wird desaktiviert, wenn die Kühlmitteltemperatur einen Wert von 343 K (70 °C) erreicht hat, oder innerhalb von 15 Minuten nach ihrer Aktivierung, je nachdem, was zuerst eintritt, und

4.1.3.2.2. der Wartungsbetrieb muss aktiviert sein, während die Strategie aktiv ist.

4.2. Wartungsbetrieb

4.2.1. Bedingungen für den Wartungsbetrieb von Zweistoffmotoren

Befindet sich ein Zweistoffmotor im Wartungsbetrieb, so unterliegt er einer Betriebsbeschränkung und ist vorübergehend von den in dieser Verordnung beschriebenen Anforderungen in Bezug auf Abgasemissionen und die Begrenzung der $NO_x$-Emissionen ausgenommen.

▼B

4.2.2. Betriebsbeschränkung im Wartungsbetrieb

4.2.2.1. Anforderung an Motoren aller Klassen außer IWP, IWA, RLL und RLR

Die Betriebsbeschränkung im Wartungsbetrieb für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit Zweistoffmotoren aller Klassen außer IWP, IWA, RLL und RLR ist jene, die durch die „starke Aufforderung“ nach Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.4 aktiviert wird.

Um Sicherheitsaspekten Rechnung zu tragen und eine Selbstheilungsdiagnose zu ermöglichen, ist die Verwendung einer Funktion zur Übersteuerung des Aufforderungssystems, mit der die volle Motorleistung erreicht werden kann, gemäß Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.5 zulässig.

Die Betriebsbeschränkung darf weder durch die Aktivierung noch durch die Deaktivierung der in Anhang IV genannten Warn- und Aufforderungssysteme deaktiviert werden.

Die Aktivierung und die Deaktivierung des Wartungsbetriebs darf die in Anhang IV genannten Warn- und Aufforderungssysteme weder aktivieren noch deaktivieren.

4.2.2.2. Anforderung an Motoren der Klassen IWP, IWA, RLL und RLR

Für Motoren der Klassen IWP, IWA, RLL und RLR ist zur Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten der Wartungsbetrieb ohne Einschränkung in Bezug auf Drehmoment oder Drehzahl des Motors zulässig. In diesem Fall muss das Bordcomputerprotokoll immer dann, wenn eine Betriebsbeschränkung nach Nummer 4.2.2.3 aktiv wäre, alle Motorbetriebsereignisse mit aktivem Wartungsbetrieb so in einem nichtflüchtigen Speicher aufzeichnen, dass die Daten nicht absichtlich gelöscht werden können.

Es muss den nationalen Kontrollbehörden möglich sein, diese Aufzeichnungen mit einem Lesegerät zu lesen.

4.2.2.3. Aktivierung der Betriebsbeschränkung

Die Betriebsbeschränkung muss sich automatisch aktivieren, wenn der Wartungsbetrieb aktiviert ist.

Ist der Wartungsbetrieb gemäß Nummer 4.2.3 wegen einer Fehlfunktion in der Gasversorgung aktiviert, so muss sich die Betriebsbeschränkung innerhalb von 30 Betriebsminuten nach Aktivierung des Wartungsbetriebs aktivieren.

Ist der Wartungsbetrieb wegen eines leeren Gastanks aktiviert, muss sich die Betriebsbeschränkung aktiveren, sobald der Wartungsbetrieb aktiviert ist.

4.2.2.4. Deaktivierung der Betriebsbeschränkung

Die Betriebsbeschränkung muss sich deaktivieren, sobald der Motor nicht mehr im Wartungsbetrieb ist.

4.2.3. Nichtverfügbarkeit von gasförmigem Kraftstoff bei Zweistoffbetrieb

Damit nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte nach der Erkennung eines leeren Gastanks oder einer Fehlfunktion in der Gasversorgung eine sichere Position einnehmen können, muss

a) bei Zweistoffmotoren der Typen 1A und 2A der Wartungsbetrieb aktiviert werden;

▼B

b) bei Zweistoffmotoren der Typen 1B, 2B und 3B der Flüssigkraftstoffbetrieb aktiviert werden.

4.2.3.1. Nichtverfügbarkeit von gasförmigem Kraftstoff — leerer Gastank

Bei einem leeren Gastank muss sich der Wartungsbetrieb oder gegebenenfalls gemäß Nummer 4.2.3 der Flüssigkraftstoffbetrieb aktivieren, sobald das Motorsystem einen leeren Tank erkannt hat.

Wenn die Verfügbarkeit von Gas im Tank wieder das Niveau erreicht, durch das die Aktivierung des in Nummer 4.3.2 beschriebenen Füllstandwarnsystems für leeren Tank ausgelöst wurde, kann der Wartungsbetrieb deaktiviert oder gegebenenfalls der Zweistoffbetrieb wieder aktiviert werden.

4.2.3.2. Nichtverfügbarkeit von gasförmigem Kraftstoff — Fehlfunktion in der Gasversorgung

Bei Nichtverfügbarkeit von gasförmigem Kraftstoff infolge einer Fehlfunktion in der Gasversorgung muss sich der Wartungsbetrieb oder gegebenenfalls gemäß Nummer 4.2.3 der Flüssigkraftstoffbetrieb aktivieren.

Sobald die Gaszufuhr funktioniert, kann der Wartungsbetrieb deaktiviert oder gegebenenfalls der Zweistoffbetrieb wieder aktiviert werden.

4.3. Kraftstoffanzeiger für den Zweistoffbetrieb

4.3.1. Zweistoffbetriebsanzeiger

Nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte müssen über eine Anzeige verfügen, durch die das Betriebspersonal die jeweils aktuelle Betriebsart des Motors (Zweistoff-, Flüssigkraftstoff- oder Wartungsbetrieb) erkennt.

Die Merkmale und die Einbauposition dieser Anzeige sind in das Ermessen des Originalgeräteherstellers zu stellen, wobei die Integration in ein bereits bestehendes Anzeigesystems möglich ist.

Diese Anzeige kann durch eine Vorrichtung zur Anzeige von Hinweisen ergänzt werden. Das System für die Anzeige dieser Warnhinweise kann dasselbe sein wie das Diagnosesystem für $NO_x$-Emissionen oder für andere Instandhaltungszwecke.

Das Sichtelement des Zweistoffbetriebsanzeigers darf nicht dasselbe sein wie jenes für das Diagnosesystem für $NO_x$-Emissionen oder für andere Motorinstandhaltungszwecke.

Sicherheitswarnungen müssen gegenüber Hinweisen zur Betriebsart stets vorrangig angezeigt werden.

4.3.1.1. Der Zweistoffbetriebsanzeiger muss auf Wartungsbetrieb schalten, sobald der Wartungsbetrieb aktiviert wird (d. h. noch bevor dieser tatsächlich aktiv ist), und die Anzeige muss während der gesamten Dauer des aktiven Wartungsbetriebs sichtbar bleiben.

4.3.1.2. Sobald die Motorbetriebsart von Flüssigkraftstoffbetrieb auf Zweistoffbetrieb — oder umgekehrt — geändert wird, muss der Zweistoffbetriebsanzeiger für mindestens eine Minute auf Zweistoffbetrieb bzw. auf Flüssigkraftstoffbetrieb schalten. Diese Anzeige muss auch beim Einschalten der Zündung oder auf Antrag des Herstellers beim Anlassen des Motors für mindestens eine Minute erscheinen. Die Anzeige muss außerdem auf Anforderung durch das Bedienpersonal sichtbar werden.

▼B

4.3.2. Füllstandwarnsystem für leeren Gastank (Zweistoff-Warnsystem)

Nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit einem Zweistoffmotor müssen zum Hinweisen des Bedienpersonals auf einen nahezu leeren Gastank mit einem Zweistoff-Warnsystem ausgerüstet sein.

Das Zweistoff-Warnsystem muss aktiv bleiben, bis der Füllstand des Tanks ein Niveau oberhalb des Niveaus erreicht, bei dem das Warnsystem aktiviert wird

Das Zweistoff-Warnsystem darf durch andere Warnsignale vorübergehend unterbrochen werden, sofern diese wichtige sicherheitsbezogene Hinweise anzeigen.

Das Zweistoff-Warnsystem darf sich erst dann mittels eines Lesegeräts abschalten lassen, wenn die Ursache für die Aktivierung des Warnsignals beseitigt wurde.

4.3.2.1. Merkmale des Zweistoff-Warnsystems

Das Zweistoff-Warnsystem besteht aus einem visuellen Warnsystem (Bildsymbol, Piktogramm usw.), dessen Ausgestaltung dem Hersteller überlassen bleibt.

Es kann nach Wahl des Herstellers eine akustische Komponente enthalten. Ist eine solche Komponente vorhanden, so ist die Möglichkeit ihrer Abschaltung durch das Bedienpersonal gestattet.

Das Sichtelement des Zweistoff-Warnsystems darf nicht dasselbe sein wie jenes für das Diagnosesystem für $NO_x$-Emissionen oder für andere Motorinstandhaltungszwecke.

Das Zweistoff-Warnsystem kann außerdem kurze Hinweise anzeigen, darunter Hinweise, die deutlich die Entfernung, die noch zurückgelegt werden kann, oder die verbleibende Zeit bis zur Aktivierung der Betriebsbeschränkung angeben.

Das System für die Anzeige dieser Warnungen und Hinweise kann dasselbe sein wie das System für die Anzeige von Warnungen und Hinweisen in Bezug auf das Diagnosesystem für $NO_x$-Emissionen oder für andere Instandhaltungszwecke.

Eine Einrichtung, die dem Bedienpersonal ermöglicht, die optischen Signale des Warnsystems zu dimmen, kann in nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten zur Verfügung gestellt werden, die von Rettungskräften genutzt werden oder die für den Einsatz durch die Streitkräfte, den Katastrophenschutz, die Feuerwehr und die für die Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung zuständigen Kräfte ausgelegt und gebaut sind.

4.4. Mitgeteiltes Drehmoment

4.4.1. Mitgeteiltes Drehmoment bei einem Zweistoffmotor im Zweistoffbetrieb

Bei einem Zweistoffmotor im Zweistoffbetrieb gilt:

a) Die abrufbare Bezugsdrehmomentkurve ist die bei der Prüfung des Motors im Zweistoffbetrieb auf einem Motorprüfstand erhaltene Kurve.

b) Die aufgezeichneten tatsächlichen Werte für das Drehmoment (angezeigtes Drehmoment und Reibungsdrehmoment) dürfen nicht aus dem ausschließlichen Flüssigkraftstoffbetrieb stammen, sondern müssen das Ergebnis der Verbrennung im Zweistoffbetrieb sein.

▼B

4.4.2. Mitgeteiltes Drehmoment bei einem Zweistoffmotor im Flüssigkraftstoffbetrieb

Beim Flüssigkraftstoffbetrieb eines Zweistoffmotors muss die abrufbare Bezugsdrehmomentkurve die bei der Prüfung des Motors im Flüssigkraftstoffbetrieb auf einem Motorprüfstand erhaltene Kurve sein.

4.5. Zusätzliche Anforderungen

4.5.1. Bei Zweistoffmotoren müssen Anpassungsstrategien zusätzlich zu den Anforderungen von Anhang IV folgende Anforderungen erfüllen:

a) Der Motor bleibt stets innerhalb des für die EU-Typgenehmigung angegebenen Zweistoff-Motortyps (d. h. Typ 1A, 2B usw.), und

b) bei einem Motor des Typs 2 übersteigt der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten $GER_{cycle}$ innerhalb der Familie zu keinem Zeitpunkt den Prozentsatz gemäß Nummer 3.1.1, außer soweit nach Nummer 3.2.1 zulässig.

4.6 Die Typgenehmigung erfolgt unter dem Vorbehalt, dass dem Originalgerätehersteller und Endnutzer gemäß den Anhängen XIV und XV Anweisungen für die Installation und den Betrieb des Zweistoffmotors erteilt werden, die sich auch auf den Wartungsbetrieb nach Nummer 4.2 und das Betriebsanzeigesystem nach Nummer 4.3 erstrecken.

5. **Leistungsanforderungen**

5.1. Die für Zweistoffmotoren geltenden Leistungsanforderungen einschließlich der Emissionsgrenzwerte und die Anforderungen für die EU-Typgenehmigung sind identisch mit denen für jeden anderen Motor der betreffenden Motorenklasse gemäß dieser Verordnung und der Verordnung (EU) 2016/1628, sofern in diesem Anhang nicht anders festgelegt.

5.2 Der Kohlenwasserstoffgrenzwert (HC-Grenzwert) für den Zweistoffbetrieb wird anhand des durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnisses (GER) über den angegebenen Prüfzyklus gemäß Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 bestimmt.

5.3 Die technischen Anforderungen in Bezug auf Emissionsminderungsstrategien, darunter die zur deren Nachweis erforderlichen Unterlagen, die technischen Vorschriften zur Verhinderung unbefugter Eingriffe und das Verbot von Abschalteinrichtungen sind identisch mit denen für jeden anderen Motor der betreffenden Motorenklasse gemäß Anhang IV.

5.4 Die detaillierten Anforderungen für den dem jeweiligen NRSC-Zyklus zugeordneten Bereich, innerhalb dessen die Menge, um die die Emissionen die Grenzwerte in Anhang II der Verordnung (EU) 2016/1628 übersteigen dürfen, geregelt wird, sind identisch mit denen für jeden anderen Motor der betreffenden Motorenklasse gemäß Anhang IV.

6. **Nachweisanforderungen**

6.1. Die für Zweistoffmotoren geltenden Nachweisanforderungen sind identisch mit denen für jeden anderen Motor der betreffenden Motorenklasse gemäß dieser Verordnung und der Verordnung (EU) 2016/1628, sofern in Abschnitt 6 nicht anders festgelegt.

6.2. Die Einhaltung der geltenden Grenzwerte ist im Zweistoffbetrieb nachzuweisen.

▼B

6.3. Bei Zweistoffmotorentypen mit einer Betriebsart für flüssigen Kraftstoff (d. h. den Typen 1B, 2B, 3B) ist die Einhaltung der geltenden Grenzwerte außerdem im Flüssigkraftstoffbetrieb nachzuweisen.

6.4. Zusätzliche Nachweisanforderungen für Motoren des Typs 2

6.4.1. Der Hersteller legt der Genehmigungsbehörde Nachweise vor, die belegen, dass die Spanne von $GER_{cycle}$ aller zur Zweistoffmotorenfamilie gehörenden Modelle den Prozentsatz gemäß Nummer 3.1.1 einhält bzw. bei Motoren mit regulierbarem $GER_{cycle}$ den Anforderungen der Nummer 6.5 genügt (zum Beispiel durch Algorithmen, Funktionsanalysen, Berechnungen, Simulationen, Ergebnisse von vorherigen Prüfungen usw.).

6.5 Zusätzliche Nachweisanforderungen für Motoren mit regulierbarem $GER_{cycle}$

6.5.1 Die Einhaltung der geltenden Grenzwerte ist bei dem vom Hersteller zugelassenen Mindest- und Höchstwert von $GER_{cycle}$ nachzuweisen.

6.6. Nachweisanforderungen für die Dauerhaltbarkeit eines Zweistoffmotors

6.6.1 Es gelten die Vorschriften von Anhang III.

6.7. Nachweis für Betriebsanzeiger, Warnsystem und Betriebsbeschränkung

6.7.1 Ein Hersteller, der einen Antrag auf EU-Typgenehmigung nach dieser Regelung stellt, muss die Funktion der Betriebsanzeiger, des Warnsystems und der Betriebsbeschränkung gemäß Anlage 1 nachweisen.

7. **Vorschriften zur Gewährleistung der ordnungsgemäßen Funktion der Vorkehrungen für die Minderung der $NO_x$-Emissionen**

7.1. Anhang IV (über technische Anforderungen an Einrichtungen zur Begrenzung der $NO_x$-Emissionen) gilt für Zweistoffmotoren im Zweistoff- wie im Flüssigkraftstoffbetrieb.

7.2. Zusätzliche Anforderungen an Einrichtungen zur Begrenzung der $NO_x$-Emissionen für Zweistoffmotoren der Typen 1B, 2B und 3B

7.2.1. Das für die starke Aufforderung gemäß Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.4 als anwendbar geltende Drehmoment ist das niedrigste der im Flüssigkraftstoffbetrieb und im Zweistoffbetrieb erzielten Drehmomente.

7.2.2. Ein möglicher Einfluss der Betriebsart auf die Erkennung von Fehlfunktionen darf nicht dazu verwendet werden, die Zeit zu verlängern, bis eine Aufforderung aktiv wird.

7.2.3. Bei Fehlfunktionen, deren Erkennung nicht von der Betriebsart des Motors abhängt, dürfen die dem Status des Diagnose-Fehlercodes zugeordneten Mechanismen nach Anhang IV Anlage 1 nicht von der Betriebsart des Motors abhängen (z. B.: Wenn ein Diagnose-Fehlercode bei Zweistoffbetrieb den Status „potenziell“ erhält, muss er bei der nächsten Erkennung der Fehlfunktion selbst im Flüssigkraftstoffbetrieb den Status „bestätigt und aktiv“ erhalten).

7.2.4. Bei Fehlfunktionen, deren Erkennung von der Betriebsart des Motors abhängt, dürfen die Diagnose-Fehlercodes einen ursprünglichen Status „aktiv“ nicht in einer anderen Betriebsart erhalten als in jener, in der sie den Status „bestätigt und aktiv“ erhalten haben.

▼B

7.2.5. Ein Wechsel der Betriebsart (von Zweistoffbetrieb zu Flüssigkraftstoffbetrieb oder umgekehrt) darf die Mechanismen, die zur Einhaltung der in Anhang IV aufgeführten Anforderungen (Zähler usw.) eingesetzt werden, weder unterbrechen noch zurücksetzen. Hängt jedoch einer dieser Mechanismen (z. B. ein Diagnosesystem) von der tatsächlichen Betriebsart ab, darf der diesem Mechanismus zugeordnete Zähler auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde:

a) anhalten und gegebenenfalls den aktuellen Wert beibehalten, wenn sich die Betriebsart ändert;

b) wieder mit der Zählung beginnen bzw. diese bei dem Zählerstand fortsetzen, bei dem er angehalten wurde, wenn der Motor wieder von der einen Betriebsart in die andere Betriebsart wechselt.

▼B

*Anlage 1*

**Zweistoffbetriebsanzeiger, Warnsystem und Betriebsbeschränkung — Nachweisanforderungen**

1. **Kraftstoffanzeiger für den Zweistoffbetrieb**

1.1. Zweistoffbetriebsanzeiger

Bei der EU-Typgenehmigung ist nachzuweisen, dass der Motor in der Lage ist, beim Zweistoffbetrieb den Zweistoffbetriebsanzeiger zu aktivieren.

1.2. Flüssigkraftstoffbetriebsanzeiger

Bei der EU-Typgenehmigung eines Zweistoffmotors des Typs 1B, 2B oder 3B ist nachzuweisen, dass der Motor in der Lage ist, beim Flüssigkraftstoffbetrieb den Flüssigkraftstoffbetriebsanzeiger zu aktivieren.

1.3. Wartungsbetriebsanzeiger

Bei der EU-Typgenehmigung ist nachzuweisen, dass der Motor in der Lage ist, beim Wartungsbetrieb den Wartungsbetriebsanzeiger zu aktivieren.

1.3.1. Bei einer derartigen Ausrüstung reicht es aus, den Nachweis hinsichtlich des Wartungsbetriebsanzeigers dadurch zu erbringen, dass ein Schalter für die Aktivierung des Wartungsbetriebs betätigt wird, und gegenüber der Genehmigungsbehörde zu belegen, dass die Aktivierung erfolgt, wenn der Wartungsbetrieb vom Motorsystem selbst angefordert wird (z. B. durch Algorithmen, Simulationen, Ergebnisse eigener Prüfungen usw.).

2. **Warnsystem**

Bei der EU-Typgenehmigung ist nachzuweisen, dass der Motor in der Lage ist, das Warnsystem zu aktivieren, wenn die im Gastank enthaltene Menge an gasförmigem Kraftstoff unter den Warnpegel sinkt. Zu diesem Zweck kann die tatsächliche Menge an gasförmigem Kraftstoff simuliert werden.

3. **Betriebsbeschränkung**

Bei der EU-Typgenehmigung eines Zweistoffmotors des Typs 1A oder 2A ist nachzuweisen, dass der Motor in der Lage ist, bei Entdeckung eines leeren Gastanks und einer Fehlfunktion in der Gasversorgung die Betriebsbeschränkung zu aktivieren. Zu diesem Zweck können der leere Gastank und die Fehlfunktion in der Gasversorgung simuliert werden.

3.1. Es reicht aus, den Nachweis für einen typischen, im Einvernehmen mit der Genehmigungsbehörde ausgewählten Anwendungsfall zu erbringen und gegenüber der Behörde zu belegen, dass die Betriebsbeschränkung auch in den anderen möglichen Anwendungsfällen eintritt (z. B. durch Algorithmen, Simulationen, Ergebnisse eigener Prüfungen usw.).

▼B

*Anlage 2*

**Anforderungen an die Emissionsprüfungen von Zweistoffmotoren**

1. **Allgemeines**

Nachfolgend werden die zusätzlichen Anforderungen und Ausnahmen gemäß diesem Anhang beschrieben, die erforderlich sind, um die Emissionsprüfung von Zweistoffmotoren unabhängig davon zu ermöglichen, ob es sich nur um Abgasemissionen handelt oder auch um Kurbelgehäuseemissionen, die den Abgasemissionen gemäß Anhang VI Nummer 6.10 beigefügt sind. Soweit keine zusätzlichen Anforderungen oder Ausnahmen aufgeführt sind, gelten die Anforderungen dieser Verordnung für Zweistoffmotoren in gleicher Weise wie für alle anderen nach der Verordnung (EU) 2016/1628 genehmigten Motorentypen oder Motorenfamilien.

Die Emissionsprüfung eines Zweistoffmotors wird durch den Umstand kompliziert, dass der vom Motor verbrannte Kraftstoff zwischen reinem Flüssigkraftstoff und einem Gemisch aus überwiegend gasförmigem Kraftstoff mit einer kleinen Menge an Flüssigkraftstoff als Zündquelle variieren kann. Das Verhältnis der von einem Zweistoffmotor verbrannten Kraftstoffe kann sich je nach Betriebsbedingung des Motors auch dynamisch ändern. Infolgedessen gelten für die Emissionsprüfung solcher Motoren besondere Vorkehrungen und Einschränkungen.

2. **Prüfbedingungen**

Es gilt Anhang VI Abschnitt 6.

3. **Prüfverfahren**

Es gilt Anhang VI Abschnitt 7.

4. **Messverfahren**

Soweit in dieser Anlage nicht anders festgelegt, gilt Anhang VI Abschnitt 8.

In Anhang VI Abbildung 6.6 ist ein Vollstromverdünnungs-Messverfahren für Zweistoffmotoren (CVS-System) dargestellt.

Bei diesem Messverfahren ist gewährleistet, dass die sich während der Prüfung ändernde Kraftstoffzusammensetzung sich vorwiegend auf die Messung der Kohlenwasserstoffe auswirkt. Dies ist durch eines der in Nummer 5.1 beschriebenen Verfahren zu kompensieren.

Rohabgas-/Teilstrom-Messverfahren nach Anhang VI Abbildung 6.7 können angewandt werden, wenn entsprechende Vorkehrungen bei der Bestimmung des Abgasmassendurchsatzes und den Berechnungsverfahren getroffen werden.

5. **Messausrüstung**

Es gilt Anhang VI Abschnitt 9.

6. **Messung der emittierten Partikelzahl**

Es gilt Anhang VI Anlage 1.

7. **Berechnung der Emissionen**

Soweit in diesem Abschnitt nicht anders festgelegt, erfolgt die Berechnung der Emissionen gemäß Anhang VII. Die zusätzlichen Anforderungen gemäß Nummer 7.1 gelten für massenbasierte Berechnungen, und die zusätzlichen Anforderungen gemäß Nummer 7.2 gelten für molbasierte Berechnungen.

▼B

Zur Berechnung der Emissionen muss die Zusammensetzung der eingesetzten Kraftstoffe bekannt sein. Bei gasförmigen Kraftstoffen, deren Eigenschaften bescheinigt sind (z. B. Flaschengas), ist es zulässig, die vom Lieferanten angegebene Zusammensetzung zu verwenden. Wenn die Zusammensetzung nicht verfügbar ist (z. B. Kraftstoff aus Leitung), so muss die Kraftstoffzusammensetzung zumindest vor und nach der Emissionsprüfung analysiert werden. Häufigere Analysen sind zulässig; die Ergebnisse werden bei der Berechnung verwendet.

Bei Verwendung des Gas-Energie-Verhältnisses (GER) muss dieses mit der Definition in Artikel 3 Absatz 2 der Verordnung (EU) 2016/1628 und den einschlägigen Bestimmungen über die Grenzwerte für Kohlenwasserstoffe (HC) insgesamt für ausschließlich und teilweise mit Gas betriebene Motoren in Anhang II der genannten Verordnung in Einklang stehen. Der Durchschnittswert von GER über den gesamten Zyklus wird nach einer der folgenden Methoden berechnet:

a) Bei NRTC mit Warmstart und RMC-NRSC durch Division der Summe der GER-Werte an jedem Messpunkt durch die Anzahl der Messpunkte;

b) bei Einzelphasen-NRSC durch Multiplikation des durchschnittlichen GER-Werts für jede Prüfphase mit dem entsprechenden Wichtungsfaktor für diese Phase und Berechnung der Summe für alle Phasen. Die Wichtungsfaktoren werden Anlage 1 zum Anhang XVII für den anwendbaren Zyklus entnommen.

7.1. Massenbasierte Emissionsberechnung

Soweit in diesem Abschnitt nicht anders festgelegt, gilt Anhang VII Abschnitt 2.

7.1.1. Trocken/Feucht-Umrechnung

7.1.1.1. Rohabgas

Die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand erfolgt mit den Gleichungen 7-3 und 7-4 von Anhang VII.

Die kraftstoffspezifischen Parameter werden gemäß Nummer 7.1.5 bestimmt.

7.1.1.2. Verdünntes Abgas

Die Umrechnung vom feuchten in den trockenen Bezugszustand erfolgt mit Gleichung 7-3 in Verbindung mit Gleichung 7-25 oder 7-26 von Anhang VII.

Für die Umrechnung vom feuchten in den trockenen Bezugszustand ist das Molverhältnis für Wasserstoff $\alpha$ der Kombination der beiden Kraftstoffe zugrunde zu legen. Dieses Molverhältnis ist ausgehend von den Messwerten für den Kraftstoffverbrauch der beiden Kraftstoffe gemäß Nummer 7.1.5 zu berechnen.

7.1.2. $NO_x$-Feuchtigkeitskorrektur

Die Feuchtigkeitskorrektur der $NO_x$-Konzentration für Selbstzündungsmotoren erfolgt gemäß Gleichung 7-9 von Anhang VII.

7.1.3. Teilstromverdünnung und Messung im Rohabgas

7.1.3.1. Berechnung des Abgasmassendurchsatzes

Der Abgasmassendurchsatz wird mithilfe eines Rohabgas-Durchsatzmessers gemäß Anhang VI Nummer 9.4.5.3 bestimmt.

▼B

Alternativ kann das Verfahren für die Messung des Luftdurchsatzes und des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses gemäß den Gleichungen 7-17 bis 7-19 von Anhang VII nur angewandt werden, wenn die Werte α, γ, δ und ε gemäß Nummer 7.1.5.3 bestimmt werden. Die Verwendung einer Zirkonsonde zur Bestimmung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses ist nicht zulässig.

Bei der Prüfung von Motoren, die stationären Prüfzyklen unterzogen werden, darf nur der Abgasmassendurchsatz mit dem Verfahren zur Luft- und Kraftstoffmessung gemäß Gleichung 7-15 von Anhang VII bestimmt werden.

7.1.3.2. Bestimmung der gasförmigen Bestandteile

Soweit in diesem Abschnitt nicht anders festgelegt, gilt Anhang VII Nummer 2.1.

Die möglichen Variationen der Kraftstoffzusammensetzung beeinflussen sämtliche in den Emissionsberechnungen verwendete $u_{gas}$-Faktoren und Molverhältnisse. Die Bestimmung der $u_{gas}$-Faktoren und Molverhältnisse erfolgt nach Wahl des Herstellers mit einem der folgenden Ansätze.

a) Zur Berechnung momentaner Werte von $u_{gas}$ unter Verwendung der momentanen Verhältnisse von flüssigem und gasförmigem Kraftstoff (bestimmt anhand von Messungen oder Berechnungen des momentanen Kraftstoffverbrauchs) und der gemäß Nummer 7.1.5 bestimmten momentanen Molverhältnisse werden die exakten Gleichungen von Anhang VII Nummer 2.1.5.2 und 2.2.3 verwendet. Oder:

b) Wird im besonderen Fall eines mit Dieselkraftstoff und Gas betriebenen Zweistoffmotors die massenbasierte Berechnung nach Anhang VII Abschnitt 2 verwendet, so können für die Molverhältnisse und die Werte von $u_{gas}$ Tabellenwerte genutzt werden. Diese Tabellenwerte sind wie folgt anzuwenden:

   i) Bei im anzuwendenden Motorprüfzyklus betriebenen Motoren mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von mindestens 90 % (GER $\geq$ 0,9) sind die den Tabellen 7.1 oder 7.2 zu entnehmenden Werte für gasförmigen Kraftstoff die benötigten Werte.

   ii) Bei im anzuwendenden Motorprüfzyklus betriebenen Motoren mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis zwischen 10 % und 90 % (0,1 < GER < 0,9) gelten die den Tabellen 8.1 und 8.2 zu entnehmenden Werte für ein Gemisch aus 50 % gasförmigem Kraftstoff und 50 % Dieselkraftstoff als repräsentativ für die benötigten Werte.

   iii) Bei im anzuwendenden Motorprüfzyklus betriebenen Motoren mit einem durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis von höchstens 10 % (GER $\leq$ 0,1) sind die den Tabellen 7.1 oder 7.2 in Anhang VII zu entnehmenden Werte für Dieselkraftstoff die benötigten Werte.

   iv) Zur Berechnung der HC-Emissionen wird in allen Fällen unabhängig vom durchschnittlichen Gas-Energie-Verhältnis (GER) der $u_{gas}$-Wert des gasförmigen Kraftstoffs verwendet.

▼B

*Tabelle 8.1*

**Molverhältnisse bei einem Gemisch aus 50 % gasförmigem Kraftstoff und 50 % Dieselkraftstoff (Massenanteil)**

| Gasförmiger Kraftstoff | α | γ | δ | ε |
|---|---|---|---|---|
| $CH_4$ | 2,8681 | 0 | 0 | 0,0040 |
| $G_R$ | 2,7676 | 0 | 0 | 0,0040 |
| $G_{23}$ | 2,7986 | 0 | 0,0703 | 0,0043 |
| $G_{25}$ | 2,7377 | 0 | 0,1319 | 0,0045 |
| Propan | 2,2633 | 0 | 0 | 0,0039 |
| Butan | 2,1837 | 0 | 0 | 0,0038 |
| LPG | 2,1957 | 0 | 0 | 0,0038 |
| LPG Kraftstoff A | 2,1740 | 0 | 0 | 0,0038 |
| LPG Kraftstoff B | 2,2402 | 0 | 0 | 0,0039 |

7.1.3.2.1. Masse der gasförmigen Emissionen je Prüfung

Werden zur Berechnung momentaner Werte von $u_{gas}$ gemäß Nummer 7.1.3.2.1 Buchstabe a die exakten Gleichungen verwendet, so ist zur Berechnung der Masse der gasförmigen Emissionen je Prüfung bei dynamischen Zyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC $u_{gas}$ in die Summierung in Gleichung 7-2 von Anhang VII Nummer 2.1.2 mittels der Gleichung 8-1 einzubeziehen:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot k_{\text{h}} \cdot k \cdot \sum_{i=1}^{N} (u_{\text{gas},i} \cdot q_{\text{mew},i} \cdot c_{\text{gas},i}) \qquad (8\text{-}1)$$

Dabei ist:

$u_{\text{gas},i}$ der momentane Wert von $u_{gas}$

Die übrigen Terme der Gleichung sind wie in Anhang VII Nummer 2.1.2 angegeben.

*Tabelle 8.2*

**$u_{gas}$-Werte für das Rohabgas und Dichte der Abgasbestandteile bei einem Gemisch aus 50 % gasförmigem Kraftstoff und 50 % Dieselkraftstoff (Massenprozent)**

| Gasförmiger Kraftstoff | Gas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\rho_e$ | $NO_x$ | CO | HC | $CO_2$ | $O_2$ | $CH_4$ |
| | | | | $\rho_{\text{gas}}$ [kg/m$^3$] | | | |
| | | 2,053 | 1,250 | ([a]) | 1,9636 | 1,4277 | 0,716 |
| | | | | $u_{\text{gas}}$ ([b]) | | | |
| CNG/LNG ([c]) | 1,2786 | 0,001606 | 0,000978 | 0,000528 ([d]) | 0,001536 | 0,001117 | 0,000560 |
| Propan | 1,2869 | 0,001596 | 0,000972 | 0,000510 | 0,001527 | 0,001110 | 0,000556 |
| Butan | 1,2883 | 0,001594 | 0,000971 | 0,000503 | 0,001525 | 0,001109 | 0,000556 |
| LPG ([e]) | 1,2881 | 0,001594 | 0,000971 | 0,000506 | 0,001525 | 0,001109 | 0,000556 |

([a]) Kraftstoffabhängig.
([b]) bei $l$ = 2, trockener Luft, 273 K und 101,3 kPa.
([c]) $u$-Werte ± 0,2 % für folgende Massenverteilung: C = 58-76 %; H = 19-25 %; N = 0-14 % ($CH_4$, $G_{20}$, $G_{23}$ und $G_{25}$).
([d]) NMHC auf der Grundlage von $CH_{2,93}$ (für Gesamt-HC ist der $u_{\text{gas}}$–Faktor für $CH_4$ zu verwenden).
([e]) $u$-Werte ± 0,2 % für folgende Massenverteilung: $C_3$ = 27-90 %; C4 = 10-73 % (LPG Kraftstoffe A und B).

▼B

7.1.3.3. Partikelbestimmung

Zur Bestimmung der Partikelemissionen durch das Messverfahren mit Teilstromverdünnung ist die Berechnung gemäß Anhang VII Nummer 2.3 durchzuführen.

Für die Kontrolle des Verdünnungsverhältnisses gelten die Anforderungen von Anhang VI Nummer 8.2.1.2. Insbesondere ist eine auf einem zuvor aufgezeichneten Prüflauf basierende vorausschauende Steuerung (Look-ahead-Steuerung) zu verwenden, falls die kombinierte Wandlungszeit des Abgasdurchsatzmesssystems und des Teilstromsystems über 0 s liegt. In diesem Fall muss die kombinierte Anstiegzeit ≤ 1 s und die kombinierte Ansprechverzögerung ≤ 10 s sein. Sofern der Abgasmassendurchsatz nicht direkt gemessen wird, sind bei dessen Bestimmung die nach Nummer 7.1.5.3 bestimmten Werte von α, δ, γ und ε zu verwenden.

Bei jeder Messung ist die Qualitätsprüfung gemäß Anhang VI Nummer 8.2.1.2 durchzuführen.

7.1.3.4. Zusätzliche Anforderungen an den Abgasmassendurchsatzmesser

Der in Anhang VI Nummern 9.4.1.6.3 und 9.4.1.6.3.3 genannte Durchsatzmesser muss gegen Änderungen der Zusammensetzung und Dichte des Abgases unempfindlich sein. Kleine Fehler, z. B. bei Messung am Pitotrohr oder einer Öffnung (entsprechend der Quadratwurzel der Abgasdichte) können vernachlässigt werden.

7.1.4. Vollstrom-Verdünnungssystem (CVS)

Soweit in diesem Abschnitt nicht anders festgelegt, gilt Anhang VII Nummer 2.2.

Die mögliche Schwankung in der Kraftstoffzusammensetzung wird sich vorwiegend auf den HC-$u_{gas}$-Tabellenwert auswirken. Zur Berechnung der Kohlenwasserstoffemission sind die exakten Gleichungen anzuwenden, wobei das Molverhältnis der Bestandteile angelegt wird, das sich bei den Messungen des Verbrauchs beider Kraftstoffe gemäß Nummer 7.1.5 ergibt.

7.1.4.1. Bestimmung der hintergrundkorrigierten Konzentrationen (Nummer 5.2.5)

Zur Bestimmung des stöchiometrischen Faktors wird das Molverhältnis des Kraftstoffs für Wasserstoff α als durchschnittliches Molverhältnis des Kraftstoffgemisches für Wasserstoff während der Prüfung gemäß Nummer 7.1.5.3 berechnet.

Alternativ dazu kann der $F_s$-Wert des gasförmigen Kraftstoffs in Gleichung 7-28 von Anhang VII verwendet werden.

7.1.5. Bestimmung der Molverhältnisse

7.1.5.1. Allgemeines

Dieser Abschnitt wird zur Bestimmung der Molverhältnisse verwendet, wenn das Kraftstoffgemisch bekannt ist (exakte Methode).

7.1.5.2. Berechnung der Bestandteile des Kraftstoffgemischs

Die Berechnung der Elementzusammensetzung des Kraftstoffgemischs erfolgt anhand der Gleichungen 8-2 bis 8-7:

▼B

$$q_{mf} = q_{mf1} + q_{mf2} \quad (8\text{-}2)$$

$$w_{H} = \frac{w_{H1} \times q_{mf1} + w_{H2} \times q_{mf2}}{q_{mf1} + q_{mf2}} \quad (8\text{-}3)$$

$$w_{C} = \frac{w_{C1} \times q_{mf1} + w_{C2} \times q_{mf2}}{q_{mf1} + q_{mf2}} \quad (8\text{-}4)$$

$$w_{S} = \frac{w_{S1} \times q_{mf1} + w_{S2} \times q_{mf2}}{q_{mf1} + q_{mf2}} \quad (8\text{-}5)$$

$$w_{N} = \frac{w_{N1} \times q_{mf1} + w_{N2} \times q_{mf2}}{q_{mf1} + q_{mf2}} \quad (8\text{-}6)$$

$$w_{O} = \frac{w_{O1} \times q_{mf1} + w_{O2} \times q_{mf2}}{q_{mf1} + q_{mf2}} \quad (8\text{-}7)$$

Dabei ist:

$q_{mf1}$ der Massendurchsatz des Kraftstoffs 1 [kg/s]

$q_{mf2}$ der Massendurchsatz des Kraftstoffs 2 [kg/s]

$w_H$ der Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$w_C$ der Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$w_S$ der Schwefelgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$w_N$ der Stickstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$w_O$ der Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

Berechnung der Molverhältnisse von H, C, S, N und O im Verhältnis zu C für das Kraftstoffgemisch

Die Berechnung der Atomverhältnisse (insbesondere des H/C-Verhältnisses α) ist in Anhang VII durch die Gleichungen 8-8 bis 8-11 vorgegeben:

$$\alpha = 11{,}9164 \cdot \frac{w_{H}}{w_{C}} \quad (8\text{-}8)$$

$$\gamma = 0{,}37464 \cdot \frac{w_{S}}{w_{C}} \quad (8\text{-}9)$$

$$\delta = 0{,}85752 \cdot \frac{w_{N}}{w_{C}} \quad (8\text{-}10)$$

$$\varepsilon = 0{,}75072 \cdot \frac{w_{O}}{w_{C}} \quad (8\text{-}11)$$

Dabei ist:

$w_H$ der Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenanteil [g/g] oder [Massenprozent]

$w_C$ der Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenanteil [g/g] oder [Massenprozent]

$w_S$ der Schwefelgehalt des Kraftstoffs, Massenanteil [g/g] oder [Massenprozent]

$w_N$ der Stickstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenanteil [g/g] oder [Massenprozent]

$w_O$ der Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenanteil [g/g] oder [Massenprozent]

α das Molverhältnis für Wasserstoff (H/C)

γ das Molverhältnis für Schwefel (S/C)

δ das Molverhältnis für Stickstoff (N/C)

ε das Molverhältnis für Sauerstoff (O/C)

bezogen auf einen Kraftstoff $CH\alpha O\varepsilon N\delta S\gamma$

▼B

7.2. Molbasierte Emissionsberechnung

Soweit in diesem Abschnitt nicht anders festgelegt, gilt Anhang VII Abschnitt 3.

7.2.1. $NO_x$-Feuchtigkeitskorrektur

Die Berechnung erfolgt anhand der Gleichung 7-102 von Anhang VII (Korrektur für Selbstzündungsmotoren).

7.2.2. Bestimmung des Abgasmassendurchsatzes ohne Verwendung eines Rohabgas-Durchsatzmessers

Die Berechnung erfolgt anhand der Gleichung 7-112 von Anhang VII (Berechnung des Moldurchsatzes auf Grundlage der Ansaugluft). Lediglich bei Durchführung einer NRSC-Prüfung kann alternativ die Gleichung 7-113 von Anhang VII (Berechnung des Moldurchsatzes auf Grundlage des Kraftstoffmassendurchsatzes) verwendet werden.

7.2.3. Molverhältnisse zur Bestimmung der gasförmigen Bestandteile

Die Ermittlung der Molverhältnisse unter Verwendung der momentanen Verhältnisse von flüssigem und gasförmigem Kraftstoff (bestimmt anhand von Messungen oder Berechnungen des momentanen Kraftstoffverbrauchs) erfolgt nach der exakten Vorgehensweise. Die momentanen Molverhältnisse gehen in die Gleichungen 7-91, 7-89 und 7-94 von Anhang VII für das kontinuierliche chemische Gleichgewicht ein.

Die Bestimmung der Verhältnisse erfolgt entweder gemäß Nummer 7.2.3.1 oder Nummer 7.1.5.3.

Gemischte oder mit einer Leitung zugeführte gasförmige Kraftstoffe können erhebliche Mengen an inerten Bestandteilen wie $CO_2$ und $N_2$ enthalten. Diese Bestandteile werden vom Hersteller entweder in die Berechnung der Atomverhältnisse gemäß Nummer 7.2.3.1 bzw. 7.1.5.3 einbezogen oder von den Atomverhältnissen ausgeschlossen und in zweckmäßiger Weise den Ansaugluftparametern für das chemische Gleichgewicht $x_{O2int}$, $x_{CO2int}$ und $x_{H2Oint}$ in Nummer 3.4.3 von Anhang VII zugeschlagen.

7.2.3.1. Bestimmung der Molverhältnisse

Die momentanen Molverhältnisse der Zahl der Wasserstoff-, Sauerstoff-, Schwefel- und Stickstoffatome gegenüber Kohlenstoffatomen im Kraftstoffgemisch für Zweistoffmotoren können anhand der Gleichungen 8-12 bis 8-15 berechnet werden:

$$\alpha(t) = \frac{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{H,liquid}}{M_H} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{H,gas}}{M_H}}{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{C,liquid}}{M_C} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{C,gas}}{M_C}} = \frac{M_C \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{H,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{H,gas})]}{M_H \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{C,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{C,gas})]} \quad (8\text{-}12)$$

$$\beta(t) = \frac{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{O,liquid}}{M_O} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{O,gas}}{M_O}}{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{C,liquid}}{M_C} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{C,gas}}{M_C}} = \frac{M_C \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{O,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{O,gas})]}{M_O \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{C,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{C,gas})]} \quad (8\text{-}13)$$

$$\gamma(t) = \frac{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{S,liquid}}{M_S} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{S,gas}}{M_S}}{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{C,liquid}}{M_C} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{C,gas}}{M_C}} = \frac{M_C \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{S,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{S,gas})]}{M_S \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{C,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{C,gas})]} \quad (8\text{-}14)$$

$$\delta(t) = \frac{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{N,liquid}}{M_N} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{N,gas}}{M_N}}{\frac{\dot{m}_{liquid}(t)\times w_{C,liquid}}{M_C} + \frac{\dot{m}_{gas}(t)\times w_{C,gas}}{M_C}} = \frac{M_C \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{N,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{N,gas})]}{M_N \times [(\dot{m}_{liquid}(t) \times w_{C,liquid}) + (\dot{m}_{gas}(t) \times w_{C,gas})]} \quad (8\text{-}15)$$

Dabei gilt:

$w_{i,fuel}$ = Massenanteil des fraglichen Elements — C, H, O, S oder N — am flüssigen oder gasförmigen Kraftstoff

▼B

$\dot{m}_{liquid(t)}$ = momentaner Massendurchsatz an flüssigem Kraftstoff zum Zeitpunkt t [kg/h]

$\dot{m}_{gas(t)}$ = momentaner Massendurchsatz an gasförmigem Kraftstoff zum Zeitpunkt t [kg/h]

In den Fällen, in denen der Absatzmassendurchsatz auf Grundlage des Kraftstoffgemischs berechnet wird, ist in Gleichung 7-111 anhand der Gleichung 8-16 zu berechnen:

$$w_C = \frac{\dot{m}_{liquid} \times w_{C,liquid} + \dot{m}_{gas} \times w_{C,gas}}{\dot{m}_{liquid} + \dot{m}_{gas}} \quad (8\text{-}16)$$

Dabei gilt:

$w_C$ = Massenanteil des Kohlenstoffs im Dieselkraftstoff oder gasförmigen Kraftstoff;

$\dot{m}_{liquid}$ = Massendurchsatz an flüssigem Kraftstoff [kg/h]

$\dot{m}_{gas}$ = Massendurchsatz an gasförmigem Kraftstoff [kg/h]

7.3. Bestimmung der $CO_2$-Emissionen

Soweit die Prüfung des Motors nicht in dynamischen Zyklen (NRTC und LSI-NRTC) oder RMC unter Rohabgasprobenentnahme erfolgt, gilt Anhang VII.

7.3.1 Bestimmung der $CO_2$-Emissionen bei der Prüfung in dynamischen Zyklen (NRTC und LSI-NRTC) oder RMC unter Rohabgasprobenentnahme

Die Berechnung der $CO_2$-Emissionen aus dem im Abgas gemessenen $CO_2$ gemäß Anhang VII kommt nicht zur Anwendung. Stattdessen gelten die folgenden Vorschriften:

Der gemessene und prüfungsgemittelte Kraftstoffverbrauch wird anhand der Summe der momentanen Werte über den gesamten Zyklus bestimmt und als Grundlage für die Berechnung der prüfungsgemittelten $CO_2$-Emissionen herangezogen.

Die Masse jeder der verbrauchten Kraftstoffarten wird verwendet, um gemäß Abschnitt 7.1.5 das Molverhältnis für Wasserstoff und die Massenanteile des Kraftstoffgemischs zu bestimmen.

Die korrigierte Gesamtkraftstoffmasse beider Kraftstoffarten $m_{fuel,corr}$ [g/Prüfung] und die Masse der $CO_2$-Emissionen aus dem Kraftstoff $m_{CO2,\ fuel}$ [g/Prüfung] wird anhand der Gleichungen 8-17 und 8-18 ermittelt.

$$m_{fuel,corr} = m_{fuel} - \left( m_{THC} + \frac{A_C + a \cdot A_H}{M_{CO}} xm_{CO} + \frac{W_{GAM} + W_{DEL} + W_{EPS}}{100} \cdot m_{fuel} \right) \quad (8\text{-}17)$$

$$m_{CO_2 fuel} = \frac{M_{CO_2}}{A_C + a + A_H} \cdot m_{fuel,corr} \quad (8\text{-}18)$$

Dabei gilt:

$m_{fuel}$ = Gesamtkraftstoffmasse beider Kraftstoffarten [g/Prüfung]

$m_{THC}$ = Masse der Gesamtkohlenwasserstoffemissionen im Abgas [g/Prüfung]

$m_{CO}$ = Masse der Kohlenmonoxidemissionen im Abgas [g/Prüfung]

$w_{GAM}$ = Schwefelgehalt der Kraftstoffarten [Massenprozent]

▼B

$w_{DEL}$ = Stickstoffgehalt der Kraftstoffarten [Massenprozent]

$w_{EP}$ = Sauerstoffgehalt des Kraftstoffes [Massenprozent]

α = Molverhältnis der Kraftstoffe für Wasserstoff (H/C) [-]

$A_C$ = Atommasse von Kohlenstoff: 12,011 [g/mol]

$A_H$ = Atommasse von Wasserstoff: 1,0079 [g/mol]

$M_{CO}$ = Molekülmasse von Kohlenmonoxid: 28,011 [g/mol]

$M_{CO2}$ = Molekülmasse von Kohlendioxid: 44,01 [g/mol]

Die auf Harnstoff zurückzuführende $CO_2$-Emission $m_{CO2,urea}$ [g/Prüfung] wird anhand der Gleichung 8-19 berechnet:

$$m_{CO_2,urea} = \frac{c_{urea}}{100} \times \frac{M_{CO2}}{M_{CO(NH_2)_2}} \times m_{urea} \quad (8\text{-}19)$$

Dabei gilt:

$c_{urea}$ = Harnstoff-Konzentration [ %]

$m_{urea}$ = Gesamtverbrauch an Harnstoffmasse [g/Prüfung]

$M_{CO(NH2)2}$ = Molekülmasse von Harnstoff: 60,056 [g/mol]

Daraufhin wird die Masse der $CO_2$-Gesamtemission $m_{CO2}$ [g/Prüfung] anhand der Gleichung 8-20 berechnet:

$$m_{CO2} = m_{CO2,fuel} + m_{CO2,urea} \quad (8\text{-}20)$$

Die anhand der Gleichung 8-20 berechneten $CO_2$-Gesamtemissionen werden zur Berechnung der bremsspezifischen $CO_2$-Emissionen $e_{CO2}$ [g/kWh] in Anhang VII Abschnitt 2.4.1.1 oder 3.8.1.1 verwendet. Gegebenenfalls wird die Berichtigung des $CO_2$-Anteils im Abgas aufgrund des $CO_2$-Gehalts des gasförmigen Kraftstoffs gemäß Anhang IX Anlage 3 vorgenommen.

▼B

*Anlage 3*

**Mit Erdgas/Biomethan oder Flüssiggas und einem flüssigen Kraftstoff betriebene Zweistoffmotorentypen — Darstellung der Begriffsbestimmungen und grundlegende Anforderungen**

| Typ | $GER_{cycle}$ | Leerlauf mit Flüssigkraftstoff | Warmlauf mit Flüssigkraftstoff | Betrieb nur mit Flüssigkraftstoff | Betrieb bei Fehlen von Gas | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A | $GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$ oder $GER_{NRSC,} \geq 0{,}9$ | NICHT zulässig | Nur im Wartungsbetrieb zulässig | Nur im Wartungsbetrieb zulässig | Wartungsbetrieb | |
| 1B | $GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$ oder $GER_{NRSC} \geq 0{,}9$ | Nur im Flüssigkraftstoffbetrieb zulässig | Nur im Flüssigkraftstoffbetrieb zulässig | Nur im Flüssigkraftstoff- und Wartungsbetrieb zulässig | Flüssigkraftstoffbetrieb | |
| 2A | $0{,}1 < GER_{NRTC,\ hot} < 0{,}9$ oder $0{,}1 < GER_{NRSC} < 0{,}9$ | Zulässig | Nur im Wartungsbetrieb zulässig | Nur im Wartungsbetrieb zulässig | Wartungsbetrieb | $GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$ oder $GER_{NRSC} \geq 0{,}9$ Zulässig |
| 2B | $0{,}1 < GER_{NRTC,\ hot} < 0{,}9$ oder $0{,}1 < GER_{NRSC} < 0{,}9$ | Zulässig | Zulässig | Zulässig | Flüssigkraftstoffbetrieb | $GER_{NRTC,\ hot} \geq 0{,}9$ oder $GER_{NRSC} \geq 0{,}9$ Zulässig |
| 3A | Weder definiert noch zulässig | | | | | |
| 3B | $GER_{NRTC,\ hot} \leq 0{,}1$ oder $GER_{NRSC} \leq 0{,}1$ | Zulässig | Zulässig | Zulässig | Flüssig-kraftstoffbetrieb | |

▼B

*ANHANG IX*

**Bezugskraftstoffe**

1. **Technische Daten der Kraftstoffe für die Prüfung von Selbstzündungsmotoren**

1.1. Typ: Diesel (nicht für den Straßenverkehr bestimmtes Gasöl)

| Parameter | Einheit | Grenzwerte (1) | | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Cetanzahl (2) | | 45 | 56,0 | 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 |
| — Siedeende | °C | — | 370 | EN-ISO 3405 |
| Flammpunkt | °C | 55 | — | EN 22719 |
| Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP) | °C | — | – 5 | EN 116 |
| Viskosität bei 40 °C | $mm^2/s$ | 2,3 | 3,3 | EN-ISO 3104 |
| Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe | Masse-% | 2,0 | 6,0 | IP 391 |
| Schwefelgehalt (3) | mg/kg | — | 10 | ASTM D 5453 |
| Kupferkorrosion | | — | Klasse 1 | EN-ISO 2160 |
| Conradsonzahl (10 % Rückstand) | Masse-% | — | 0,2 | EN-ISO 10370 |
| Aschegehalt | Masse-% | — | 0,01 | EN-ISO 6245 |
| Gesamtverunreinigung | mg/kg | — | 24 | EN 12662 |
| Wassergehalt | Masse-% | — | 0,02 | EN-ISO 12937 |
| Säurezahl (starke Säure) | mg KOH/g | — | 0,10 | ASTM D 974 |
| Oxidationsbeständigkeit (3) | mg/ml | — | 0,025 | EN-ISO 12205 |
| Schmierfähigkeit (Durchmesser der Verschleißfläche nach HFRR bei 60 °C) | µm | — | 400 | CEC F-06-A-96 |
| Oxidationsbeständigkeit bei 110 °C (3) | H | 20,0 | — | EN 15751 |
| Fettsäuremethylester | Volumen-prozent | — | 7,0 | EN 14078 |

(1) Bei den Werten der technischen Daten handelt es sich um „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen des ISO-Dokuments 4259 „Petroleum products — Determination and application of precision data in relation to methods of test“ 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).
Unabhängig von dieser aus statistischen Gründen getroffenen Festlegung muss 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 zu deren Lösung die Bestimmungen von ISO 4259 herangezogen werden, sofern anstelle von Einzelmessungen Wiederholungsmessungen in für die notwendige Genauigkeit ausreichender Anzahl vorgenommen werden.

(3) Obwohl die Oxidationsbeständigkeit überwacht wird, ist die Lagerfähigkeitsdauer wahrscheinlich begrenzt. Es wird empfohlen, sich auf Herstellerempfehlungen hinsichtlich Lagerbedingungen und -beständigkeit zu stützen.

▼B

1.2. Typ: Ethanol für bestimmte Selbstzündungsmotoren (ED95) ([1])

| Parameter | Einheit | Grenzwerte ([2]) | | Prüfverfahren ([3]) |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Gesamtalkohol (Ethanol einschließlich Gehalt an stärker gesättigten Alkoholen) | Masse-% | 92,4 | | EN 15721 |
| Andere stärker gesättigte Monoalkohole ($C_3$-$C_5$) | Masse-% | | 2,0 | EN 15721 |
| Methanol | Masse-% | | 0,3 | EN 15721 |
| Dichte bei 15 °C | kg/m$^3$ | 793,0 | 815,0 | EN ISO 12185 |
| Säure, berechnet als Essigsäure | % m/m | | 0,0025 | EN 15491 |
| Aussehen | | Hell und klar | | |
| Flammpunkt | °C | 10 | | EN 3679 |
| Trockenrückstand | mg/kg | | 15 | EN 15691 |
| Wassergehalt | Masse-% | | 6,5 | EN 15489 ([4])<br>EN-ISO 12937<br>EN15692 |
| Aldehyde, berechnet als Acetaldehyd | Masse-% | | 0,0050 | ISO 1388-4 |
| Ester, berechnet als Ethylacetat | Masse-% | | 0,1 | ASTM D1617 |
| Schwefelgehalt | mg/kg | | 10,0 | EN 15485<br>EN 15486 |
| Sulfate | mg/kg | | 4,0 | EN 15492 |
| Partikelverunreinigung | mg/kg | | 24 | EN 12662 |
| Phosphor | mg/l | | 0,20 | EN 15487 |
| Anorganisches Chlor | mg/kg | | 1,0 | EN 15484 oder EN 15492 |
| Kupfer | mg/kg | | 0,100 | EN 15488 |
| Elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | | 2,50 | DIN 51627-4 oder prEN 15938 |

*Anmerkungen:*

([1]) Dem Ethanolkraftstoff können entsprechend den Herstellerinformationen Additive wie beispielsweise Zündverbesserer beigemischt werden, sofern keine negativen Begleiterscheinungen bekannt sind. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, ist die höchstzulässige Menge 10 Massen-%.

([2]) Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen des ISO-Dokuments 4259 „Petroleum products — Determination and application of precision data in relation to methods of test“ 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). Unabhängig von dieser aus statistischen Gründen getroffenen Festlegung muss 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.

([3]) Gleichwertige EN/ISO-Verfahren werden übernommen, sobald sie für die oben angegebenen Eigenschaften veröffentlicht sind.

([4]) Falls Zweifel daran bestehen, ob ein Kraftstoff die Anforderungen erfüllt, gelten die Bestimmungen von EN 15489.

▼B

2. **Technische Daten der Kraftstoffe für die Prüfung von Fremdzündungsmotoren**

2.1. Typ: Benzin (E10)

| Parameter | Einheit | Grenzwerte ([1]) | | Prüfverfahren ([2]) |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Research-Oktanzahl, ROZ | | 91,0 | 98,0 | EN ISO 5164: 2005 ([3]) |
| Motoroktanzahl, MOZ | | 83,0 | 89,0 | EN ISO 5163: 2005 ([3]) |
| Dichte bei 15 °C | kg/m$^3$ | 743 | 756 | EN ISO 3675<br>EN ISO 12185 |
| Dampfdruck | kPa | 45,0 | 60,0 | EN-ISO 13016-1 (DVPE) |
| Wassergehalt | | | Maximal 0,05 Vol.-%<br>Aussehen bei – 7 °C: Hell und klar | EN 12937 |
| Siedeverlauf: | | | | |
| — bei 70 °C verdampft | Vol.-% | 18,0 | 46,0 | EN-ISO 3405 |
| — bei 100 °C verdampft | Vol.-% | 46,0 | 62,0 | EN-ISO 3405 |
| — bei 150 °C verdampft | Vol.-% | 75,0 | 94,0 | EN-ISO 3405 |
| — Siedeende | °C | 170 | 210 | EN-ISO 3405 |
| Rückstand | Vol.-% | — | 2,0 | EN-ISO 3405 |
| Analyse der Kohlenwasserstoffe: | | | | |
| — Olefine | Vol.-% | 3,0 | 18,0 | EN 14517<br>EN 15553 |
| — Aromaten | Vol.-% | 19,5 | 35,0 | EN 14517<br>EN 15553 |
| — Benzol | Vol.-% | — | 1,0 | EN 12177<br>EN 238 oder EN 14517 |
| — Alkane | Vol.-% | anzugeben | | EN 14517<br>EN 15553 |
| Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis | | anzugeben | | |
| Kohlenstoff-Sauerstoff-Verhältnis | | anzugeben | | |
| Induktionszeit ([4]) | Minuten | 480 | | EN-ISO 7536 |
| Sauerstoffgehalt ([5]) | Masse-% | 3,3 ([8]) | 3,7 | EN 1601<br>EN 13132<br>EN 14517 |
| Abdampfrückstand | mg/ml | — | 0,04 | EN-ISO 6246 |

▼B

| Parameter | Einheit | Grenzwerte (1) | | Prüfverfahren (2) |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Schwefelgehalt (6) | mg/kg | — | 10 | /EN ISO 20846<br>/EN ISO 20884 |
| Kupferkorrosion (3 Stunden bei 50 °C) | Korrosionsgrad | — | Klasse 1 | EN-ISO 2160 |
| Bleigehalt | mg/l | — | 5 | EN 237 |
| Phosphorgehalt (7) | mg/l | — | 1,3 | ASTM D 3231 |
| Ethanol | Vol.-% | 9,0 (8) | 10,2 (8) | EN 22854 |

*Anmerkungen:*

(1) Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen des ISO-Dokuments 4259 „Petroleum products — Determination and application of precision data in relation to methods of test“ 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). Unabhängig von dieser aus statistischen Gründen getroffenen Festlegung muss 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) Gleichwertige EN/ISO-Verfahren werden übernommen, sobald sie für die oben angegebenen Eigenschaften veröffentlicht sind.

(3) Für die Berechnung des Endergebnisses gemäß EN 228:2008 ist ein Korrekturfaktor von 0,2 bei der MOZ und der ROZ abzuziehen.

(4) Der Kraftstoff kann Oxidationsinhibitoren und Metalldeaktivatoren enthalten, die normalerweise zur Stabilisierung von Raffineriebenzinströmen Verwendung finden; es dürfen jedoch keine Detergenzien/Dispersionszusätze und Lösungsöle zugesetzt sein.

(5) Die einzige sauerstoffhaltige Kraftstoffkomponente, die dem Bezugskraftstoff absichtlich zugesetzt werden darf, ist Ethanol, das den technischen Daten der Norm EN 15376 entspricht.

(6) Der tatsächliche Schwefelgehalt des für die Prüfung Typ 1 verwendeten Kraftstoffs muss mitgeteilt werden.

(7) Phosphor, Eisen, Mangan oder Blei enthaltende Verbindungen dürfen diesem Bezugskraftstoff nicht absichtlich zugesetzt werden.

(8) Bei Motoren der Klasse SMB können der Ethanolgehalt und der entsprechende Sauerstoffgehalt nach Wahl des Herstellers 0 betragen. In diesem Fall sind sämtliche Prüfungen der Motorenfamilie bzw. — in Abwesenheit einer Familie — des Motortyps unter Verwendung von Ottokraftstoff ohne Ethanolgehalt durchzuführen.

2.2. Typ: Ethanol (E85)

| Parameter | Einheit | Grenzwerte (1) | | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Research-Oktanzahl, ROZ | | 95,0 | — | EN ISO 5164 |
| Motoroktanzahl, MOZ | | 85,0 | — | EN ISO 5163 |
| Dichte bei 15 °C | $kg/m^3$ | anzugeben | | ISO 3675 |
| Dampfdruck | kPa | 40,0 | 60,0 | EN-ISO 13016-1 (DVPE) |
| Schwefelgehalt (2) | mg/kg | — | 10 | EN 15485 oder EN 15486 |
| Oxidationsbeständigkeit | Minuten | 360 | | EN ISO 7536 |
| Gehalt an Abdampfrückstand (mit Lösungsmittel ausgewaschen) | mg/100 ml | — | 5 | EN-ISO 6246 |
| Aussehen<br>Dieses ist bei Umgebungstemperatur bzw. bei 15 °C zu bestimmen, je nachdem, was höher ist. | | Hell und klar, sichtlich frei von gelösten oder ausgefällten Verunreinigungen | | Sichtprüfung |

▼B

| Parameter | Einheit | Grenzwerte ([1]) | | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Ethanol und höhere Alkohole ([3]) | Vol.-% | 83 | 85 | EN 1601<br>EN 13132<br>EN 14517<br>E DIN 51627-3 |
| Höhere Alkohole ($C_3$-$C_8$) | Vol.-% | — | 2,0 | E DIN 51627-3 |
| Methanol. | Vol.-% | | 1,00 | E DIN 51627-3 |
| Benzin ([4]) | Vol.-% | Rest | | EN 228 |
| Phosphor | mg/l | 0,20 ([5]) | | EN 15487 |
| Wassergehalt | Vol.-% | | 0,300 | EN 15489 oder EN 15692 |
| Gehalt anorganischen Chlors | mg/l | | 1 | EN 15492 |
| pHe | | 6,5 | 9,0 | EN 15490 |
| Kupferstreifenkorrosion (3 Stunden bei 50 °C) | Korrosionsgrad | Klasse 1 | | EN-ISO 2160 |
| Säuregehalt (angegeben als Essigsäure — $CH_3COOH$) | Masse-%<br>(mg/l) | — | 0,0050<br>(40) | EN 15491 |
| Elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | 1,5 | | DIN 51627-4 oder prEN 15938 |
| Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis | | anzugeben | | |
| Kohlenstoff-Sauerstoff-Verhältnis | | anzugeben | | |

*Anmerkungen:*

([1]) Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen des ISO-Dokuments 4259 „Petroleum products — Determination and application of precision data in relation to methods of test“ 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). Unabhängig von dieser aus statistischen Gründen getroffenen Festlegung muss 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 tatsächliche Schwefelgehalt des für die Emissionsprüfung verwendeten Kraftstoffs muss mitgeteilt werden.

([3]) Die einzige sauerstoffhaltige Kraftstoffkomponente, die dem Bezugskraftstoff absichtlich zugesetzt werden darf, ist Ethanol, das den technischen Daten der Norm EN 15376 entspricht.

([4]) Der Gehalt an bleifreiem Benzin lässt sich folgendermaßen ermitteln: 100 minus der Summe des prozentualen Gehalts an Wasser, Alkoholen, MTBE und ETBE.

([5]) Phosphor, Eisen, Mangan oder Blei enthaltende Verbindungen dürfen diesem Bezugskraftstoff nicht absichtlich zugesetzt werden.

3. **Technische Daten der gasförmigen Kraftstoffe für Ein- und Zweistoffmotoren**

3.1. Typ: LPG

| Parameter | Einheit | Kraftstoff A | Kraftstoff B | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|
| Zusammensetzung: | | | | EN 27941 |
| $C_3$-Gehalt | Vol.-% | 30 ± 2 | 85 ± 2 | |
| $C_4$-Gehalt | Vol.-% | Rest ([1]) | Rest ([1]) | |
| $< C_3, > C_4$ | Vol.-% | max. 2 | max. 2 | |

▼B

| Parameter | Einheit | Kraftstoff A | Kraftstoff B | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|
| Olefine | Vol.-% | max. 12 | max. 15 | |
| Abdampfrückstand | mg/kg | max. 50 | max. 50 | EN 15470 |
| Wasser bei 0 °C | | wasserfrei | wasserfrei | EN 15469 |
| Gesamtschwefelgehalt einschließlich Geruchsstoff | mg/kg | max. 10 | max. 10 | EN 24260, ASTM D 3246, ASTM 6667 |
| Schwefelwasserstoff | | keiner | keiner | EN ISO 8819 |
| Kupferstreifenkorrosion (1 Stunde bei 40 °C) | Korrosionsgrad | Klasse 1 | Klasse 1 | ISO 6251 (2) |
| Geruch | | Eigengeruch | Eigengeruch | |
| Motor-Oktanzahl (3) | | min. 89,0 | min. 89,0 | EN 589 Anhang B |

*Anmerkungen:*

(1) Der Rest lautet wie folgt: Rest = 100 – $C_3$ – < $C_3$ – > $C_4$.
(2) Mit diesem Verfahren lassen sich korrosive Stoffe möglicherweise nicht zuverlässig nachweisen, wenn die Probe Korrosionshemmer oder andere Stoffe enthält, die die korrodierende Wirkung der Probe auf den Kupferstreifen verringern. Es ist daher untersagt, solche Stoffe eigens zuzusetzen, um das Prüfverfahren zu beeinflussen.
(3) Auf Antrag des Motorherstellers kann eine höhere MOZ für die Typgenehmigungsprüfung verwendet werden.

3.2. Typ: Erdgas/Biomethan

3.2.1. Spezifikation für Bezugskraftstoffe mit festen Eigenschaften (z. B. aus einem verschlossenen Behälter)

Alternativ zu den hier genannten Bezugskraftstoffen können die gleichwertigen Kraftstoffe nach Nummer 3.2.2 verwendet werden.

| Merkmale | Einheiten | Basis | Grenzwerte | | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | min. | max. | |
| **Bezugskraftstoff $G_R$** | | | | | |
| Zusammensetzung: | | | | | |
| Methan | | 87 | 84 | 89 | |
| Ethan | | 13 | 11 | 15 | |
| Rest[1] | Mol.-% | — | — | 1 | ISO 6974 |
| Schwefelgehalt | $mg/m^3$ [2] | — | | 10 | ISO 6326-5 |

*Anmerkungen:*
[1] Inertgase + $C_{2+}$
[2] Im Normalzustand bei 293,2 K (20 °C) und 101,3 kPa zu bestimmen.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bezugskraftstoff $G_{23}$** | | | | | |
| Zusammensetzung: | | | | | |
| Methan | | 92,5 | 91,5 | 93,5 | |
| Rest (1) | Mol.-% | — | — | 1 | ISO 6974 |
| $N_2$ | Mol.-% | 7,5 | 6,5 | 8,5 | |

▼B

| Merkmale | Einheiten | Basis | Grenzwerte | | Prüfverfahren |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | min. | max. | |
| Schwefelgehalt | $mg/m^3$ (2) | — | — | 10 | ISO 6326-5 |

*Anmerkungen:*
(1) Inertgase (andere als $N_2$) + $C_2$+ $C_{2+}$
(2) Zu bestimmen bei 293,2 K (20 °C) und 101,3 kPa.

**Bezugskraftstoff $G_{25}$**

| Zusammensetzung: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Methan | Mol.-% | 86 | 84 | 88 | |
| Rest (1) | Mol.-% | — | — | 1 | ISO 6974 |
| $N_2$ | Mol.-% | 14 | 12 | 16 | |
| Schwefelgehalt | $mg/m^3$ (2) | — | — | 10 | ISO 6326-5 |

*Anmerkungen:*
(1) Inertgase (andere als $N_2$) + $C_2$+ $C_{2+}$
(2) Zu bestimmen bei 293,2 K (20 °C) und 101,3 kPa.

**Bezugskraftstoff $G_{20}$**

| Zusammensetzung: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Methan | Mol.-% | 100 | 99 | 100 | ISO 6974 |
| Rest (1) | Mol.-% | — | — | 1 | ISO 6974 |
| $N_2$ | Mol.-% | | | | ISO 6974 |
| Schwefelgehalt | $mg/m^3$ (2) | — | — | 10 | ISO 6326-5 |
| Wobbe-Index (netto) | $MJ/m^3$ (3) | 48,2 | 47,2 | 49,2 | |

(1) Inertgase (andere als $N_2$) + $C_2$+ $C_{2+}$
(2) Zu bestimmen bei 293,2 K (20 °C) und 101,3 kPa.
(3) Zu bestimmen bei 273,2 K (0 °C) und 101,3 kPa.

3.2.2. Spezifikation für Bezugskraftstoff aus einer Leitung mit Beimischung anderer Gase, deren Eigenschaften durch Messungen vor Ort bestimmt werden.

Alternativ zu den hier genannten Bezugskraftstoffen können die gleichwertigen Bezugskraftstoffe nach Nummer 3.2.1 verwendet werden.

3.2.2.1. Grundlage jedes aus einer Leitung stammenden Bezugskraftstoffes ($G_R$, $G_{20}$ usw.) ist Gas aus einem öffentlichen Versorgungsnetz, dem — soweit zum Erreichen der entsprechenden Spezifikation der Lambda-Verschiebung ($S_\lambda$) nach Tabelle 9.1 erforderlich — ein Gemisch der folgenden handelsüblichen (1) Gase beigemengt wird:

a) Kohlendioxid;

b) Ethan;

c) Methan;

d) Stickstoff;

e) Propan.

(1) Die Verwendung von Kalibriergas ist zu diesem Zweck nicht erforderlich.

▼B

3.2.2.2. Der Wert von $S_\lambda$ des resultierenden Gemischs von Leitungsgas und Beimischungsgas muss innerhalb der nach Tabelle 9.1 für den betreffenden Bezugskraftstoff zulässigen Bandbreite liegen.

*Tabelle 9.1.*

**Vorgeschriebene $S_\lambda$-Bandbreite für jeden Bezugskraftstoff**

| Bezugskraftstoff | $S_\lambda$ min. | $S_\lambda$ max. |
|---|---|---|
| $G_R$ ([1]) | 0,87 | 0,95 |
| $G_{20}$ | 0,97 | 1,03 |
| $G_{23}$ | 1,05 | 1,10 |
| $G_{25}$ | 1,12 | 1,20 |

([1]) Der Motor muss nicht mit einem Gasgemisch mit einer Methanzahl (MN) von weniger als 70 geprüft werden. Führt die vorgeschriebene $S_\lambda$-Bandbreite für $G_R$ zu einer Methanzahl unter 70, so kann der Wert von $S_\lambda$ für $G_R$ wie erforderlich angepasst werden, bis eine Methanzahl von mindestens 70 erreicht ist.

3.2.2.3. Der Prüfbericht für jeden Prüflauf muss folgende Angaben enthalten:

a) Aus der Liste in Nummer 3.2.2.1 ausgewählte Beimischungsgase;

b) $S_\lambda$-Wert des resultierenden Kraftstoffgemischs;

c) Methanzahl (MN) des resultierenden Kraftstoffgemischs.

3.2.2.4. Die Anforderungen der Anlagen 1 und 2 sind in Bezug auf die Bestimmung der Eigenschaften der Leitungs- und Beimischungsgase, die Bestimmung von $S_\lambda$ und MN der resultierenden Gasgemische sowie die Überprüfung der Mischungskonstanz während der Prüfung zu erfüllen.

3.2.2.5. Enthält einer oder mehrere der Gasströme (Leitungsgas und Beimischungsgase) mehr als einen vernachlässigbaren $CO_2$-Anteil, so ist die Berechnung der spezifischen $CO_2$-Emissionen in Anhang VII gemäß Anlage 3 zu korrigieren.

▼B

*Anlage 1*

**Zusätzliche Anforderungen an Emissionsprüfungen unter Verwendung gasförmiger Bezugskraftstoffe, darunter Leitungsgas mit Beimischung anderer Gase**

1. **Gasanalyse und Messung des Gasdurchsatzes — Methodik**

1.1. Für die Zwecke dieser Anlage ist die Zusammensetzung des Gases soweit erforderlich durch Analyse mittels Gaschromatographie nach EN ISO 6974 oder durch eine andere Technik, die ein mindestens vergleichbares Maß an Genauigkeit und Wiederholbarkeit erzielt, zu bestimmen.

1.2. Für die Zwecke dieser Anlage erfolgt die Messung des Gasdurchsatzes soweit erforderlich unter Verwendung eines massespezifischen Durchflussmessers.

2. **Analyse und Durchflussrate des Versorgungsgases**

2.1. Die Zusammensetzung des zugeführten Versorgungsgases ist vor dem Beimischungssystem zu analysieren.

2.2. Die Durchflussrate des in das Beimischungssystem eingeleiteten Versorgungsgases ist zu messen.

3. **Analyse der Durchflussrate der Gasbeimischung**

3.1. Liegt für eine Gasbeimischung eine entsprechende Analysebescheinigung (z. B. des Gasversorgers) vor, so kann diese als Quelle der Zusammensetzung der Beimischung verwendet werden. In diesem Fall ist die Vor-Ort-Analyse der Zusammensetzung der Gasbeimischung zulässig, aber nicht vorgeschrieben.

3.2. Liegt für eine Gasbeimischung keine entsprechende Analysebescheinigung vor, so ist deren Zusammensetzung zu analysieren.

3.3. Die Durchflussrate jeder in das Beimischungssystem eingeleiteten Gasbeimischung ist zu messen.

4. **Analyse des Gasgemischs**

4.1. Die Analyse der Zusammensetzung des Gases, das dem Motor nach Verlassen des Beimischungssystems zugeleitet wird, zusätzlich oder als Alternative zu der Analyse gemäß den Nummern 2.1 und 3.1 ist zulässig, aber nicht vorgeschrieben.

5. **Berechnung von $S_\lambda$ und MN des Gasgemischs**

5.1 Die Berechnung von MN nach EN16726:2015 erfolgt anhand der Ergebnisse der Gasanalyse gemäß den Nummern 2.1, 3.1 oder 3.2 und gegebenenfalls 4.1 in Kombination mit dem nach den Nummern 2.2 und 3.3 gemessenen Gasmassendurchsatz. Der gleiche Datensatz ist zur Berechnung von $S_\lambda$ nach dem in Anlage 2 beschriebenen Verfahren zu verwenden.

6. **Regelung und Kontrolle des Gasgemischs während der Prüfung**

6.1. Regelung und Kontrolle des Gasgemischs während der Prüfung erfolgen entweder in einem offenen oder einem geschlossenen Regelkreissystem.

6.2. Gemischregelung im offenen System

6.2.1. In diesem Fall sind die Gasanalyse, die Durchsatzmessungen und die Berechnungen gemäß den Nummern 1, 2, 3 und 4 vor der Emissionsprüfung durchzuführen.

6.2.2. Die Anteil von Versorgungsgas und Beimischungen muss so gewählt werden, dass $S_\lambda$ innerhalb der nach Tabelle 9.1 für den betreffenden Bezugskraftstoff zulässigen Bandbreite liegt.

▼B

6.2.3. Nach Einstellung der relativen Anteile müssen diese während der Emissionsprüfung beibehalten werden. Anpassungen einzelner Durchsätze zur Aufrechterhaltung der relativen Anteile sind zulässig.

6.2.4. Nach Durchführung der Emissionsprüfung sind die Analyse der Gaszusammensetzung, die Durchsatzmessungen und die Berechnungen gemäß den Nummern 2, 3, 4 und 5 zu wiederholen. Damit ein Test als gültig gewertet werden kann, muss der Wert von $S_\lambda$ innerhalb der nach Tabelle 9.1 für den betreffenden Bezugskraftstoff zulässigen Bandbreite liegen.

6.3. Gemischregelung im geschlossenen Regelkreissystem

6.3.1. In diesem Fall sind die Analyse der Gaszusammensetzung, die Durchsatzmessungen und die Berechnungen gemäß den Nummern 2, 3, 4 und 5 in Abständen während der Emissionsprüfung durchzuführen. Bei der Wahl der Abstände ist zu berücksichtigen, welche Untersuchungshäufigkeit die Kapazität des Gaschromatographen und des zugehörigen Rechensystems erlaubt.

6.3.2. Anhand der Ergebnisse der periodischen Messungen und Berechnungen werden die relativen Anteile von Versorgungs- und Beimischungsgas so angepasst, dass der Wert von $S_\lambda$ stets innerhalb der nach Tabelle 9.1 für den betreffenden Bezugskraftstoff zulässigen Bandbreite liegt. Anpassungen erfolgen nicht häufiger als Messungen.

6.3.3. Damit ein Test als gültig gewertet werden kann, muss der Wert von $S_\lambda$ bei mindestens 90 % der Messpunkte innerhalb der nach Tabelle 9.1 für den betreffenden Bezugskraftstoff zulässigen Bandbreite liegen.

▼B

*Anlage 2*

**Berechnung des λ-Verschiebungsfaktors ($S_\lambda$)**

1. **Berechnung**

Der λ-Verschiebungsfaktor ($S_\lambda$) ([1]) wird anhand der Gleichung 9-1 berechnet:

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert\%}}{100}\right)\left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{O_2^*}{100}} \quad (9\text{-}1)$$

Dabei gilt:

$S_\lambda$ = λ-Verschiebungsfaktor

inert % = Vol.- % der Inertgase im Kraftstoff (d. h. $N_2$, $CO_2$, He usw.)

$O^*_2$ = Vol.- % des ursprünglichen Sauerstoffs im Kraftstoff;

n und m = beziehen sich auf durchschnittliche $C_nH_m$-Werte, die den Kohlenwasserstoffgehalt des Kraftstoffs repräsentieren, d. h.:

$$n = \frac{1 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 2 \times \left[\frac{C_2\%}{100}\right] + 3 \times \left[\frac{C_3\%}{100} + 4 \times \left[\frac{C_4\%}{100} + 5 \times \left[\frac{C_5\%}{100} + ..\right]\right]\right]}{\frac{1 - \text{diluent\%}}{100}} \quad (9\text{-}2)$$

$$m = \frac{4 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 4 \times \left[\frac{C_2H_4\%}{100}\right] + 6 \times \left[\frac{C_2H_6\%}{100} + \ldots 8 \times \left[\frac{C_3H_8\%}{100} + ..\right]\right]}{\frac{1 - \text{diluent\%}}{100}} \quad (9\text{-}3)$$

Dabei gilt:

$CH_4$ = Vol.- % Methan im Kraftstoff

$C_2$ = Vol.- % aller $C_2$-Kohlenwasserstoffe (z. B.: $C_2H_6$, $C_2H_4$ usw.) im Kraftstoff;

$C_3$ = Vol.- % aller $C_3$-Kohlenwasserstoffe (z. B.: $C_3H_8$, $C_3H_6$ usw.) im Kraftstoff;

$C_4$ = Vol.- % aller $C_4$-Kohlenwasserstoffe (z. B.: $C_4H_{10}$, $C_4H_8$ usw.) im Kraftstoff;

$C_5$ = Vol.- % aller $C_5$-Kohlenwasserstoffe (z. B.: $C_5H_{12}$, $C_5H_{10}$ usw.) im Kraftstoff;

Verdünnungsgas = Vol.- % der Verdünnungsgase im Kraftstoff (d. h. $O_2$ $CO_2$, He usw.).

2. **Beispiele für die Berechnung des λ-Verschiebungsfaktors $S_\lambda$:**

Beispiel 1: $G_{25}$: $CH_4$ = 86 %, $N_2$ = 14 % (Vol.- %)

$$n = \frac{1 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 2 \times \left[\frac{C_2\%}{100}\right] + ..}{\frac{1 - \text{diluent \%}}{100}} = \frac{1 \times 0{,}86}{1 - \frac{14}{100}} = \frac{0{,}86}{0{,}86} = 1$$

$$m = \frac{4 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 4 \times \left[\frac{C_2H_4\%}{100}\right] + ..}{\frac{1 - \text{diluent \%}}{100}} = \frac{4 \times 0{,}86}{0{,}86} = 4$$

([1]) Stoichiometric Air/Fuel ratios of automotive fuels — SAE J1829, Juni 1987. John B. Heywood, Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill, 1988, Chapter 3.4 „Combustion stoichiometry“ (Seiten 68 bis 72).

▼B

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert\%}}{100}\right)\left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{O_2^*}{100}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{14}{100}\right) \times \left(1 + \frac{4}{4}\right)} = 1{,}16$$

Beispiel 2: $G_R$: $CH_4$ = 87 %, $C_2H_6$ = 13 % (Vol.- %)

$$n = \frac{1 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 2 \times \left[\frac{C_2\%}{100}\right] + ..}{\frac{1-\text{diluent \%}}{100}} = \frac{1 \times 0{,}87 + 2 \times 0{,}13}{1 - \frac{0}{100}} = \frac{1{,}13}{} = 1{,}13$$

$$m = \frac{4 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 2 \times \left[\frac{C_2H_4\%}{100}\right] + ..}{\frac{1-\text{diluent \%}}{100}} = \frac{4 \times 0{,}87 + 6 \times 0{,}13}{1} = 4{,}26$$

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert\%}}{100}\right)\left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{O_2^*}{100}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{0}{100}\right) \times \left(1{,}13 + \frac{4{,}26}{4}\right)} = 0{,}911$$

Beispiel 3: Vereinigte Staaten von Amerika: $CH_4$ = 89 %, $C_2H_6$ = 4,5 %, $C_3H_8$ = 2,3 %, $C_6H_{14}$ = 0,2 %, $O_2$ = 0,6 %, $N_2$ = 4 %

$$n = \frac{1 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 2 \times \left[\frac{C_2\%}{100}\right] + ..}{\frac{1-\text{diluent \%}}{100}} = \frac{1 \times 0{,}89 + 2 \times 0{,}045 + 3 \times 0{,}023 + 4 \times 0{,}002}{1 - \frac{0{,}64+4}{100}} = 1{,}11$$

$$m = \frac{4 \times \left[\frac{CH_4\%}{100}\right] + 2 \times \left[\frac{C_2H_4\%}{100}\right] + 6 \times \left[\frac{C_2H_6\%}{100}\right] + .. + 8 \times \left[\frac{C_3H_8\%}{100}\right]}{\frac{1-diluent\ \%}{100}} = \frac{4 \times 0{,}89 + 4 \times 0{,}045 + 8 \times 0{,}023 + 14 \times 0{,}002}{1 - \frac{0{,}6+4}{100}} = 4{,}24$$

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert\%}}{100}\right)\left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{O_2^*}{100}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{4}{100}\right) \times \left(1{,}11 + \frac{4{,}24}{4}\right) - \frac{0{,}6}{100}} = 0{,}96$$

Als Alternative zur obigen Gleichung kann $S_\lambda$ wie nachfolgend angegeben aus dem Verhältnis des stöchiometrischen Luftbedarfs von reinem Methan und des stöchiometrischen Luftbedarfs des dem Motor zugeführten Kraftstoffgemischs berechnet werden.

Der λ-Verschiebungsfaktor ($S_\lambda$) drückt den Sauerstoffbedarf eines Kraftstoffgemischs im Vergleich zum Sauerstoffbedarf von reinem Methan aus. Der Sauerstoffbedarf ist dabei die Sauerstoffmenge, die notwendig ist, um Methan bei einer stöchiometrischen Zusammensetzung der Reaktionspartner in Produkte einer vollständigen Verbrennung (d. h. Kohlendioxid und Wasser) zu oxidieren.

Die Verbrennung von reinem Methan ist die Reaktion nach Gleichung 9-4:

$$1 \cdot CH_4 + 2 \cdot O_2 \rightarrow 1 \cdot CO_2 + 2 \cdot H_2O \qquad (9\text{-}4)$$

In diesem Fall ist das Verhältnis der Moleküle bei stöchiometrischer Zusammensetzung der Reaktionspartner genau 2:

$$\frac{n_{O_2}}{n_{CH_4}} = 2$$

Dabei gilt:

$n_{O2}$ = Anzahl der Sauerstoffmoleküle

$n_{CH4}$ = Anzahl der Methanmoleküle

▼B

Der Sauerstoffbedarf von reinem Methan beträgt daher:

$n_{O2} = 2 \cdot n_{CH4}$ mit einem Referenzwert von $[n_{CH4}] = 1$ kmol

Der Wert von $S_\lambda$ kann nach Gleichung 9-5 als Quotient aus dem Verhältnis der stöchiometrischen Zusammensetzung von Sauerstoff und Methan und dem Verhältnis der stöchiometrischen Zusammensetzung von Sauerstoff und dem Kraftstoffgemisch, das dem Motor zugeführt wird, berechnet werden:

$$S_\lambda = \frac{\left(\frac{n_{O2}}{n_{CH4}}\right)}{\left(\frac{n_{O2}}{n_{blend}}\right)} = \frac{2}{(n_{O2})_{\text{blend}}} \tag{9-5}$$

Dabei gilt:

$n_{blend}$ = Anzahl der Moleküle des Kraftstoffgemischs

$(n_{O2})_{blend}$ = Das Molekülverhältnis in der stöchiometrischen Zusammensetzung von Sauerstoff und dem Kraftstoffgemisch, das dem Motor zugeführt wird

Da Luft 21 % Sauerstoff enthält, wird der stöchiometrische Luftbedarf $L_{st}$ eines beliebigen Kraftstoffs anhand der Gleichung 9-6 berechnet:

$$L_{st,fuel} = \frac{n_{O2,fuel}}{0{,}21} \tag{9-6}$$

Dabei gilt:

$L_{st,fuel}$ = stöchiometrischer Luftbedarf des Kraftstoffs

$n_{O2\ fuel}$ = stöchiometrischer Sauerstoffbedarf des Kraftstoffs

Folglich kann der Wert von $S_\lambda$ auch nach Gleichung 9-7 als Quotient aus dem Verhältnis der stöchiometrischen Zusammensetzung von Luft und Methan und dem Verhältnis der stöchiometrischen Zusammensetzung von Luft und dem Kraftstoffgemisch, das dem Motor zugeführt wird, berechnet werden, d. h. als Quotient aus dem stöchiometrischen Luftbedarf von Methan und dem stöchiometrischen Luftbedarf des dem Motor zugeführten Kraftstoffgemischs:

$$S_\lambda = \frac{\left(\frac{n_{O2}}{n_{CH4}}\right)/0{,}21}{\left(\frac{n_{O2}}{n_{blend}}\right)/0{,}21} = \frac{\left(\frac{n_{O2}}{0{,}21}\right)_{CH_4}}{\left(\frac{n_{O2}}{0{,}21}\right)_{blend}} = \frac{L_{st,CH_4}}{L_{st,blend}} \tag{9-7}$$

Daher ist jede Berechnung, die den stöchiometrischen Luftbedarf angibt, zum Ausdrücken des λ-Verschiebungsfaktors zulässig.

▼B

*Anlage 3*

**Berichtigung des $CO_2$ -Anteils im Abgas aufgrund des $CO_2$-Gehalts des gasförmigen Kraftstoffs**

1. **Momentaner $CO_2$-Massendurchsatz im Gaskraftstoffstrom**

1.1. Die Gaszusammensetzung und der Gasdurchsatz sind gemäß den Anforderungen von Anlage 1 Abschnitte 1 bis 4 zu bestimmen.

1.2 Der momentane $CO_2$-Massendurchsatz in einem dem Motor zugeleiteten Gasstrom ist anhand der Gleichung 9-8 zu berechnen.

$$\dot{m}_{CO2i} = (M_{CO2}/M_{stream}) \cdot x_{CO2i} \cdot \dot{m}_{streami} \quad (9\text{-}8)$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_{CO2i}$ = Momentaner $CO_2$-Massendurchsatz aus dem Gasstrom [g/s]

$\dot{m}_{streami,}$ = Momentaner Massendurchsatz des Gasstroms [g/s]

$x_{CO2i}$ = Molfraktion von $CO_2$ im Gasstrom [-]

$M_{CO2}$ = Molmasse von $CO_2$ [g/mol]

$M_{stream}$ = Molmasse des Gasstroms [g/mol]

$M_{stream}$ ist aus allen gemessenen Bestandteilen (1, 2, …, n) anhand der Gleichung 9-9 zu berechnen.

$$M_{stream} = x_1 \cdot M_1 + x_2 \cdot M_2 + \ldots + x_n \cdot M_n \quad (9\text{-}9)$$

Dabei gilt:

$X_{1,\ 2,\ \ldots n}$ = Molfraktion jedes gemessenen Bestandteils im Gasstrom ($CH_4$, $CO_2$, …) [-]

$M_{1,\ 2,\ \ldots n}$ = Molmasse jedes gemessenen Bestandteils im Gasstrom [g/mol]

1.3. Zur Ermittlung der Gesamtmassendurchsatzes von $CO_2$ im dem Motor zugeleiteten gasförmigen Kraftstoff wird entweder die Berechnung nach Gleichung 9-8 für jeden einzelnen $CO_2$ enthaltenden und dem Mischungssystem zugeleiteten Gasstrom vorgenommen und die Ergebnisse für die einzelnen Gasströme werden addiert, oder die Berechnung wird für das aus dem Mischungssystem austretende und dem Motor zugeleitete Gasgemisch anhand der Gleichung 9-10 vorgenommen:

$$\dot{m}_{CO2i,\ fuel} = \dot{m}_{CO2i,\ a} + \dot{m}_{CO2i,\ b} + \ldots + \dot{m}_{CO2i,\ n} \quad (9\text{-}10)$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_{CO2i,\ fuel}$ = momentaner kombinierter $CO_2$-Massendurchsatz aufgrund des $CO_2$-Gehalts des dem Motor zugeleiteten gasförmigen Kraftstoffs [g/s]

$\dot{m}_{CO2i,\ a,\ b,\ \ldots,\ n}$ = momentaner $CO_2$-Massendurchsatz aufgrund des $CO_2$-Gehalts jedes einzelnen Gasstroms a, b, …, n [g/s]

▼B

2. **Berechnung der spezifischen $CO_2$-Emissionen für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC**

2.1 Die Gesamtmasse je Prüfung der $CO_2$-Emission aus dem $CO_2$ im Kraftstoff $m_{CO2,\ fuel}$ [g/Prüfung] ist durch Summierung der momentanen $CO_2$-Massendurchsätze im dem Motor zugeleiteten gasförmigen Kraftstoff $\dot{m}_{CO2i,\ fuel}$ [g/s] während des Prüflaufs anhand der Gleichung 9-11 zu berechnen:

$$m_{\ CO2,fuel} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{m}_{CO2,fuel} \tag{9-11}$$

Dabei gilt:

$f$ = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

2.2 Die in den Gleichungen 7-61, 7-63, 7-128 oder 7-130 von Anhang VII zur Berechnung des spezifischen Emissionsergebnisses $e_{CO2}$ [g/kWh] verwendete Gesamtmasse der $CO_2$-Emission $m_{CO2}$ [g/Prüfung] wird in jenen Gleichungen durch den anhand der Gleichung 9-12 errechneten korrigierten Wert $m_{CO2,\ corr}$ [g/Prüfung] ersetzt.

$$m_{CO2,\ corr} = m_{CO2} - m_{CO2,\ fuel} \tag{9-12}$$

3. **Berechnung der spezifischen $CO_2$-Emissionen für Einzelphasen-NRSC**

3.1 Der mittlere Massendurchsatz der $CO_2$-Emission aus dem $CO_2$ im Kraftstoff pro Stunde $q_{mCO2,\ fuel}$ oder $\dot{m}_{CO2,\ fuel}$ [g/h] wird für jede einzelne Prüfphase aus den während der Probenentnahme der betreffenden Prüfphase vorgenommenen Messungen der momentanen $CO_2$-Massendurchsätze $\dot{m}_{CO2i,\ fuel}$ [g/s] nach Gleichung 9-10 anhand der Gleichung 9-13 berechnet.

$$q_{\ mCO2,fuel} = \dot{m}_{CO2,fuel} = \frac{1}{3\ 600 \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{m}_{CO2,fuel} \tag{9-13}$$

Dabei gilt:

N = Anzahl der Messungen während der Prüfphase [-]

3.2 Der in den Gleichungen 7-64 oder 7-131 von Anhang VII zur Berechnung des spezifischen Emissionsergebnisses $e_{CO2}$ [g/kWh] verwendete mittlere Massendurchsatz der $CO_2$-Emission $q_{mCO2}$ oder $\dot{m}_{CO2}$ [g/h] für jede einzelne Prüfphase wird in jenen Gleichungen durch den anhand der Gleichungen 9-14 oder 9-15 errechneten korrigierten Wert $q_{mCO2,\ corr}$ oder $\dot{m}_{CO2,}$ [g/h] ersetzt.

$$q_{mCO2,\ corr} = q_{mCO2} - q_{mCO2,\ fuel} \tag{9-14}$$

$$\dot{m}_{CO2,\ corr} = \dot{m}_{CO2} - \dot{m}_{CO2,\ fuel} \tag{9-15}$$

▼B

*ANHANG X*

**Einzelheiten der technischen Spezifikationen und Bedingungen für die Lieferung eines Motors getrennt von seinem Abgasnachbehandlungssystem**

1. Gesonderte Lieferung im Sinne von Artikel 34 Absatz 3 der Verordnung (EU) 2016/1628 ist gegeben, wenn der Hersteller und der den Motor einbauende Originalgerätehersteller separate Rechtspersonen sind und der Motor vom Hersteller von einem bestimmten Ort gesondert von seinem Abgasnachbehandlungssystem geliefert wird, während das Abgasnachbehandlungssystem von einem anderen Ort und/oder zu einem anderen Zeitpunkt geliefert wird.

2. **In diesem Fall gilt Folgendes:**

2.1. Der Hersteller gilt als verantwortlich für das Inverkehrbringen des Motors und für dessen Übereinstimmung mit dem genehmigten Motortyp.

2.2. Er gibt vor dem vom Abgasnachbehandlungssystem gesonderten Versand des Motors an den Originalgerätehersteller alle Bestellungen für die separat versandten Teile auf.

2.3. Er stellt dem Originalgerätehersteller die Anweisungen für den Einbau des Motors und des Abgasnachbehandlungssystems zur Verfügung; dies schließt die Kennzeichnung der separat versandten Teile und alle zur Prüfung der ordnungsgemäßen Funktion des montierten Motors entsprechend dem genehmigten Motortyp oder der Motorenfamilie notwendigen Informationen ein.

2.4. Aufzeichnungspflichten:

1) Der Motorenhersteller führt Aufzeichnungen über die dem Originalgerätehersteller zur Verfügung gestellten Anweisungen.

2) Er führt eine Liste aller getrennt gelieferten Teile.

3) Er führt Aufzeichnungen über die vom Originalgerätehersteller übermittelten Unterlagen, in denen dieser bestätigt, dass die gelieferten Motoren gemäß Abschnitt 3 mit dem genehmigten Typ in Übereinstimmung gebracht wurden.

2.4.1. Er bewahrt die Aufzeichnungen mindestens 10 Jahre lang auf.

2.4.2. Er stellt auf Antrag die Aufzeichnungen der Genehmigungsbehörde, der Europäischen Kommission oder den Marktüberwachungsbehörden zur Verfügung.

2.5. Er stellt sicher, dass zusätzlich zu der gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnung gemäß Artikel 32 der Verordnung (EU) 2016/1628 an dem Motor ohne Abgasnachbehandlungssystem gemäß Artikel 33 Absatz 1 der genannten Verordnung und in Einklang mit den Bestimmungen von Anhang III der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 eine vorübergehende Kennzeichnung angebracht wird.

2.6. Er stellt sicher, dass die getrennt von den Motoren gelieferten Teile gekennzeichnet sind (z. B. mit Teilenummern).

2.7. Er stellt gemäß Anhang III der Verordnung (EU) 2016/1628 sowie gemäß Artikel 3 Absätze 7, 30 und 32 der genannten Verordnung sicher, dass im Falle eines Übergangsmotors der Motor (einschließlich des Abgasnachbehandlungssystems) ein Motorproduktionsdatum hat, das vor dem Datum für das Inverkehrbringen der Motoren liegt.

2.7.1. Falls das Produktionsdatum aus der Kennzeichnung auf dem Abgasnachbehandlungssystem nicht hervorgeht, müssen die in Nummer 2.4 genannten Aufzeichnungen auch belegen, dass das Abgasnachbehandlungssystem, das Teil eines Übergangsmotors ist, vor dem genannten Datum hergestellt wurde.

▼B

3. **Pflichten des Originalgeräteherstellers**

3.1. Der Originalgerätehersteller bestätigt gegenüber dem Hersteller, dass der Motor gemäß den erhaltenen Anweisungen mit dem genehmigten Motortyp oder der genehmigten Motorenfamilie in Übereinstimmung gebracht wurde und dass alle zum Sicherstellen der ordnungsgemäßen Funktion des montierten Motors notwendigen Kontrollen durchgeführt wurden.

3.2. Erhält ein Originalgerätehersteller regelmäßig Motoren von einem Hersteller, so kann die Bestätigung nach Nummer 3.1 in regelmäßigen Abständen nach Absprache zwischen den Parteien erbracht werden, die jedoch nicht mehr als ein Jahr betragen dürfen.

▼B

*ANHANG XI*

**Detaillierte technische Spezifikationen und Bedingungen für das vorübergehende Inverkehrbringen zu Zwecken der praktischen Erprobung**

Für das vorübergehende Inverkehrbringen von Motoren zu Zwecken der praktischen Erprobung gemäß Artikel 34 Absatz 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 gelten die folgenden Bedingungen:

1. Der Motor bleibt Eigentum des Herstellers bis eines der Verfahren gemäß Nummer 5 abgeschlossen ist. Dies schließt eine finanzielle Vereinbarung mit dem Originalgerätehersteller oder dem an der Erprobung beteiligten Endnutzer nicht aus.

2. Vor dem Inverkehrbringen des Motors unterrichtet der Hersteller die Typgenehmigungsbehörde eines Mitgliedstaats unter Angabe seines Namens oder seiner Handelsmarke, der eindeutigen Kennnummer und des Produktionsdatums des Motors und aller einschlägigen Informationen über dessen Emissionsverhalten sowie der Identität des Originalgeräteherstellers oder des an der Erprobung beteiligten Endnutzers.

3. Dem Motor muss eine Konformitätserklärung des Herstellers beiliegen, die den Bestimmungen von Anhang II der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 entspricht; aus der Konformitätserklärung muss insbesondere hervorgehen, dass es sich um einen gemäß Artikel 34 Absatz 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 zu Zwecken der praktischen Erprobung vorübergehend in Verkehr gebrachten Motor handelt.

4. Der Motor muss die gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnungen nach Anhang III der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 tragen.

5. Nach Abschluss der Tests, spätestens jedoch nach Ablauf von 24 Monaten ab dem Inverkehrbringen des Motors, trägt der Hersteller dafür Sorge, dass der Motor entweder vom Markt genommen oder in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Verordnung (EU) 2016/1628 gebracht wird. Der Hersteller unterrichtet die Genehmigungsbehörde über die getroffene Entscheidung.

6. Abweichend von Nummer 5 kann der Hersteller bei derselben Genehmigungsbehörde mit entsprechender Begründung eine Verlängerung der Erprobung um bis zu weitere 24 Monate beantragen.

6.1. Die Genehmigungsbehörde kann die Verlängerung erlauben, falls sie diese als gerechtfertigt erachtet. In diesem Fall gilt Folgendes:

   1) Der Herstellers gibt für den zusätzlichen Zeitraum eine Konformitätserklärung ab, und

   2) am Ende des Verlängerungszeitraums, spätestens jedoch 48 Monate nach dem Inverkehrbringen des Motors, gelten die Bestimmungen gemäß Nummer 5.

▼B

*ANHANG XII*

**Einzelheiten der technischen Spezifikationen und Bedingungen für Motoren mit besonderer Zweckbestimmung**

Für das Inverkehrbringen von Motoren, die die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel für Motoren mit besonderer Zweckbestimmung gemäß Anhang VI der Verordnung (EU) 2016/1628 erfüllen, gelten die folgenden Bedingungen:

1. Vor dem Inverkehrbringen des Motors trifft der Hersteller angemessene Vorkehrungen, um sicherzustellen, dass der Motor in nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte eingebaut wird, die ausschließlich zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß Artikel 34 Absatz 5 der genannten Verordnung bestimmt sind oder die ausschließlich für das Zuwasserlassen und Einholen der von einem nationalen Rettungsdienst betriebenen Rettungsboote nach Artikel 34 Absatz 6 der genannten Verordnung verwendet werden.

2. Für die Zwecke der Nummer 1 gilt eine schriftliche Erklärung des Originalgeräteherstellers oder des Wirtschaftsteilnehmers, der den Motor erhält, mit der Bestätigung, dass der Motor in nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte eingebaut wird, die ausschließlich zu derartigen besonderen Zwecken verwendet werden, als angemessene Maßnahme.

3. Der Hersteller kommt folgenden Pflichten nach:

   1) Er bewahrt die schriftliche Erklärung gemäß Nummer 2 mindestens 10 Jahre lang auf, und

   2) er stellt diese der Genehmigungsbehörde, der Europäischen Kommission oder den Marktüberwachungsbehörden auf Antrag zur Verfügung.

4. Dem Motor muss eine Konformitätserklärung des Herstellers beiliegen, die den Bestimmungen von Anhang II der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 entspricht; aus der Konformitätserklärung muss insbesondere hervorgehen, dass es sich um einen gemäß Artikel 34 Absatz 5 oder Absatz 6 der Verordnung (EU) 2016/1628 in Verkehr gebrachten Motor mit besonderer Zweckbestimmung handelt.

5. Der Motor muss die gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnungen nach Anhang III der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 tragen.

▼B

*ANHANG XIII*

**Anerkennung gleichwertiger Typgenehmigungen für Motoren**

1. Bei Motorenfamilien oder Motortypen der Klasse NRE werden die folgenden Typgenehmigungen und gegebenenfalls die entsprechende gesetzlich vorgeschriebene Kennzeichnung als den erteilten EU-Typgenehmigungen und gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnungen gemäß der Verordnung (EU) 2016/1628 gleichwertig anerkannt:

   1) nach der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 und ihren Durchführungsmaßnahmen erteilte EU-Typgenehmigungen, falls durch einen technischen Dienst bestätigt wurde, dass der Motor folgende Anforderungen erfüllt:

      a) die Anforderungen nach Anhang IV Anlage 2, wenn der Motor gemäß Artikel 4 Absatz 1 Buchstabe b der Verordnung (EU) 2016/1628 ausschließlich für den Einsatz anstelle von Stufe-V-Motoren der Klassen IWP und IWA vorgesehen ist; oder

      b) die Anforderungen nach Anhang IV Anlage 1 für Motoren, die nicht unter Buchstabe a fallen;

   2) Typgenehmigungen nach der UNECE-Regelung Nr. 49 Änderungsserie 06, falls durch einen technischen Dienst bestätigt wurde, dass der Motor folgende Anforderungen erfüllt:

      a) die Anforderungen nach Anhang IV Anlage 2, wenn der Motor gemäß Artikel 4 Absatz 1 Buchstabe b der Verordnung (EU) 2016/1628 ausschließlich für den Einsatz anstelle von Stufe-V-Motoren der Klassen IWP und IWA vorgesehen ist, oder

      b) die Anforderungen nach Anhang IV Anlage 1 für Motoren, die nicht unter Buchstabe a fallen.

▼B

*ANHANG XIV*

**Einzelheiten der relevanten Informationen und Anweisungen für Originalgerätehersteller**

1. Der Hersteller stellt dem Originalgerätehersteller gemäß Artikel 43 Absatz 2 der Verordnung (EU) 2016/1628 alle sachdienlichen Informationen und Anweisungen zur Verfügung, um sicherzustellen, dass der Motor beim Einbau in nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte mit dem genehmigten Motortyp übereinstimmt. Die zu diesem Zweck erteilten Anweisungen sind dem Originalgerätehersteller deutlich kenntlich zu machen.

2. Die Anweisungen können auf Papier oder in einem allgemein üblichen elektronischen Format erteilt werden.

3. Erhält ein und derselbe Originalgerätehersteller mehrere Motoren, zu denen die gleichen Anweisungen nötig sind, so ist die einmalige Erteilung der Anweisungen ausreichend.

4. Die Informationen und Anweisungen für Originalgerätehersteller umfassen zumindest Folgendes:

   1) zum Erzielen der Emissionsleistung des betreffenden Motortyps einschließlich der Emissionsminderungsanlage einzuhaltende Einbauerfordernisse, die berücksichtigt werden müssen, um die ordnungsgemäße Funktion der Emissionsminderungsanlage sicherzustellen;

   2) eine Beschreibung etwaiger besonderer Bedingungen oder Einschränkungen im Zusammenhang mit dem Einbau oder dem Betrieb des Motors laut EU-Typgenehmigungsbogen gemäß Anhang IV der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656;

   3) einen Hinweis darauf, dass der Motor durch den Einbau nicht dauerhaft so stark gedrosselt werden darf, dass er ausschließlich in einem Leistungsbereich funktioniert, der einer (Unter-)Klasse entspricht, für die strengere Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel gelten als für die (Unter-)Klasse, zu der der Motor gehört;

   4) bei Motorenfamilien, für die Anhang V gilt, die oberen und unteren Grenzen des geltenden Prüfbereichs sowie einen Hinweis darauf, dass der Motor durch den Einbau nicht dauerhaft so stark gedrosselt werden darf, dass er ausschließlich bei Drehzahlen und Lastpunkten funktioniert, die außerhalb des Prüfbereichs für die Drehmomentkurve des Motors liegen;

   5) gegebenenfalls Konstruktionsanforderungen an die vom Originalgerätehersteller bereitgestellten Bauteile, die nicht Bestandteil des Motors sind und benötigt werden, um sicherzustellen, dass dieser nach dem Einbau dem genehmigten Motortyp entspricht;

   6) gegebenenfalls Anforderungen an die Auslegung des Reagensbehälters, u. a. in Bezug auf Frostschutz, Füllstandüberwachung und Möglichkeiten zur Entnahme einer Probe des Reagens;

   7) gegebenenfalls Informationen zum möglichen Einbau eines unbeheizten Reagenssystems;

   8) gegebenenfalls einen Hinweis darauf, dass der Motor ausschließlich zur Verwendung in Schneeschleudern bestimmt ist;

   9) gegebenenfalls einen Hinweis darauf, dass der Originalgerätehersteller ein Warnsystem gemäß Anhang IV Anlagen 1 bis 4 bereitzustellen hat;

   10) gegebenenfalls Informationen zur Schnittstelle zwischen dem Motor und den nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten für das in Nummer 9 genannte Warnsystem für das Bedienpersonal;

▼B

11) gegebenenfalls Informationen zur Schnittstelle zwischen dem Motor und den nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten für das in Anhang IV Anlage 1 Abschnitt 5 genannte Aufforderungssystem für das Bedienpersonal;

12) gegebenenfalls Informationen über eine Funktion zur zeitweiligen Deaktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal gemäß Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.2.1;

13) gegebenenfalls Informationen über die Funktion zur Übersteuerung des Aufforderungssystems gemäß Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.5;

14) Bei Zweistoffmotoren:

a) einen Hinweis darauf, dass der Originalgerätehersteller einen Zweistoffbetriebsanzeiger gemäß Anhang VIII Nummer 4.3.1 bereitzustellen hat;

b) einen Hinweis darauf, dass der Originalgerätehersteller ein Zweistoff-Warnsystem gemäß Anhang VIII Nummer 4.3.2 bereitzustellen hat;

c) gegebenenfalls Informationen zur Schnittstelle zwischen dem Motor und den nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten für das Anzeige- und Warnsystem für das Bedienpersonal nach Nummer 14 Buchstaben a und b;

15) bei einem Motor mit variabler Drehzahl der Klasse IWP mit Typgenehmigung für die Verwendung in wenigstens einer anderen Anwendung der Binnenschifffahrt gemäß Anhang IX Nummer 1.1.1.2 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656 die Einzelheiten zu allen (Unter-)Klassen und Betriebsarten (Drehzahlen), für die der Motor typgenehmigt ist beim Einbau eingerichtet werden darf;

16) bei einem für andere Drehzahlen eingerichteten Motor mit konstanter Drehzahl gemäß Anhang IX Nummer 1.1.2.3 der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656:

a) einen Hinweis darauf, dass der Einbau des Motors sicherstellen muss, dass

i) der Motor angehalten wird, bevor der Regler für die konstante Drehzahl auf eine andere Drehzahl eingestellt wird, und

ii) der Regler für die konstante Drehzahl nur auf die Drehzahl eingestellt wird, die der Motorhersteller zugelassen hat;

b) Einzelheiten zu allen (Unter-)Klassen und Betriebsarten (Drehzahlen), für die der Motor typgenehmigt ist und beim Einbau eingerichtet werden darf;

17) falls bei dem Motor — wie gemäß Artikel 3 Absatz 18 der Verordnung (EU) 2016/1628 zulässig — eine Leerlaufdrehzahl für das Anlaufen und das Abstellen vorgesehen ist, einen Hinweis darauf, dass der Einbau des Motors sicherstellen muss, dass die Regelfunktion für die konstante Drehzahl eingeschaltet ist, bevor von der Einstellung ohne Last aus die Lastanforderung an den Motor erhöht wird.

5. Der Hersteller stellt gemäß Artikel 43 Absatz 3 der Verordnung (EU) 2016/1628 dem Originalgerätehersteller alle Informationen und notwendigen Anweisungen zur Verfügung, die der Originalgerätehersteller gemäß Anhang XV dem Endnutzer zur Verfügung stellt.

▼B

6. Der Hersteller teilt dem Originalgerätehersteller gemäß Artikel 43 Absatz 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 den im Zuge des EU-Typgenehmigungsverfahrens ermittelten und im Typgenehmigungsbogen verzeichneten Wert der Kohlendioxid-Emissionen ($CO_2$) in g/kWh mit. Der Originalgerätehersteller teilt diesen Wert dem Endnutzer zusammen mit folgendem Hinweis mit: „*Diese $CO_2$-Messung ist das Ergebnis der Erprobung eines für den Motortyp bzw. die Motorenfamilie repräsentativen (Stamm-)Motors in einem festen Prüfzyklus unter Laborbedingungen und stellt keine ausdrückliche oder implizite Garantie der Leistung eines bestimmten Motors dar*“.

▼B

*ANHANG XV*

**Einzelheiten der relevanten Informationen und Anweisungen für Endnutzer**

1. Der Originalgerätehersteller stellt dem Endnutzer alle Informationen und Anweisungen zur Verfügung, die für den ordnungsgemäßen Betrieb des Motors notwendig sind, um die für den genehmigten Motortyp oder die genehmigte Motorenfamilie geltenden Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel stets einzuhalten. Die zu diesem Zweck erteilten Anweisungen sind den Endnutzern deutlich kenntlich zu machen.

2. Für die Anweisungen für Endnutzer gilt Folgendes:

   2.1. Sie müssen deutlich und in einer für Laien verständlichen Sprache verfasst sein, wobei dieselben Begriffe zu verwenden sind wie in den Anweisungen für Endnutzer der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräte.

   2.2. Sie können auf Papier oder in einem allgemein üblichen elektronischen Format erteilt werden.

   2.3. Sie können Teil der Anweisungen für Endnutzer der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräte oder ein gesondertes Dokument sein.

   2.3.1. Werden sie als von den Anweisungen für Endnutzer gesondertes Dokument vorgelegt, so sind sie in derselben Form bereitzustellen.

3. Die Informationen und Anweisungen für Endnutzer umfassen zumindest Folgendes:

   1) eine Beschreibung etwaiger besonderer Bedingungen oder Einschränkungen im Zusammenhang mit dem Betrieb des Motors laut EU-Typgenehmigungsbogen gemäß Anhang IV der Durchführungsverordnung (EU) 2017/656;

   2) einen Hinweis darauf, dass der Motor einschließlich Emissionsminderungsanlage nach den den Endnutzern erteilten Anweisungen betrieben, verwendet und gewartet werden muss, damit dessen Emissionsleistung stets den für die betreffende Motorenklasse geltenden Anforderungen genügt;

   3) einen Hinweis darauf, dass vorsätzliche Manipulationen der Emissionsminderungsanlage und deren unsachgemäßer Betrieb, insbesondere die Deaktivierung oder mangelnde Wartung eines Abgasrückführungssystems (AGR) oder eines Reagens-Dosiersystems, zu unterlassen sind;

   4) einen Hinweis darauf, dass bei unsachgemäßem Betrieb oder unsachgemäßer Nutzung oder Wartung der Emissionsminderungsanlage unbedingt umgehende Abhilfemaßnahmen entsprechend den Warnhinweisen gemäß den Nummern 5 und 6 zu treffen sind;

   5) ausführliche Erläuterungen der durch unsachgemäßen Betrieb oder unsachgemäße Nutzung oder Wartung des eingebauten Motors möglicherweise verursachten Fehlfunktionen der Emissionsminderungsanlage, zugehörige Warnsignale und entsprechende Abhilfemaßnahmen;

   6) ausführliche Erläuterungen der durch unsachgemäße Nutzung der nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräte möglicherweise verursachten Fehlfunktionen der Emissionsminderungsanlage, zugehörige Warnsignale und entsprechende Abhilfemaßnahmen;

   7) gegebenenfalls Informationen zur möglichen Verwendung eines unbeheizten Reagensbehälters und Dosiersystems;

▼B

8) gegebenenfalls einen Hinweis darauf, dass der Motor ausschließlich zur Verwendung in Schneeschleudern bestimmt ist;

9) bei nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten mit einem Warnsystem für das Bedienpersonal gemäß Anhang IV Anlage 1 Abschnitt 4 (Klasse NRE, NRG, IWP, IWA oder RLR) und/oder Anhang IV Anlage 4 Abschnitt 4 (Klasse NRE, NRG, IWP, IWA oder RLR) oder Anhang IV Anlage 3 Abschnitt 3 (Klasse RLL) einen Hinweis darauf, dass das Bedienpersonal bei nicht ordnungsgemäßer Funktion der Emissionsminderungsanlage vom Warnsystem einen entsprechenden Hinweis erhält;

10) bei nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten mit einem Aufforderungssystem für das Bedienpersonal gemäß Anhang IV Anlage 1 Abschnitt 5 (Klasse NRE, NRG) einen Hinweis darauf, dass die Nichtbeachtung der Warnsignale für das Bedienpersonal zur Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal führt und die effektive Deaktivierung des Betriebs der Maschine bzw. des Geräts nach sich zieht;

11) bei nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten mit einer Funktion zur Übersteuerung des Aufforderungssystems gemäß Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.5, mit der die volle Motorleistung erreicht werden kann, Informationen über den Betrieb dieser Funktion;

12) gegebenenfalls Erläuterungen zur Funktionsweise des Warn- und des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal gemäß den Nummern 9, 10 und 11; ferner ist zu erläutern, welche Folgen für Leistung und Störungsprotokollierung sich aus der Nichtbeachtung von Warnhinweisen und aus unterlassenem Nachfüllen des gegebenenfalls verwendeten Reagens oder unterlassener Fehlerbehebung ergeben;

13) einen Hinweis darauf, dass im Falle der Aufzeichnung unzureichender Reagensmitteleinspritzung oder Reagensmittelqualität im Bordcomputerprotokoll gemäß Anhang IV Anlage 2 Nummer 4.1 (Klassen IWP, IWA, RLR) die nationalen Kontrollbehörden solche Aufzeichnungen mit einem Lesegerät lesen können;

14) bei nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten mit einer Funktion zur Deaktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal gemäß Anhang IV Anlage 1 Nummer 5.2.1 Informationen zum Betrieb dieser Funktion sowie einen Hinweis darauf, dass diese Funktion nur im Notfall genutzt werden darf, dass jede Aktivierung derselben im Bordcomputerprotokoll aufgezeichnet wird und dass die nationalen Kontrollbehörden solche Aufzeichnungen mit einem Lesegerät lesen können;

15) Informationen über die zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Emissionsminderungsanlage erforderlichen Kraftstoffspezifikationen nach Anhang I, die mit den Spezifikationen in der EU-Typgenehmigung des Motors in Einklang stehen müssen, sowie gegebenenfalls einen Verweis auf die entsprechende europäische oder internationale Norm, und zwar:

   a) falls der Motor innerhalb der Union mit Diesel oder nicht für den Straßenverkehr bestimmtem Gasöl betrieben werden soll, einen Hinweis darauf, dass ein Kraftstoff mit einem Schwefelgehalt von höchstens 10 mg/kg (20 mg/kg am letzten Punkt der Verteilung), einer Cetanzahl von mindestens 45 und einem Fettsäuremethylestergehalt von höchstens 7 Volumenprozent zu verwenden ist;

   b) kann der Motor nach Herstellerangabe und Angabe im EU-Typgenehmigungsbogen mit weiteren Kraftstoffen, Kraftstoffmischungen oder Kraftstoffemulsionen betrieben werden, so sind diese anzugeben;

▼B

16) Informationen über die zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Emissionsminderungsanlage erforderliche Schmierölspezifikation;

17) sofern die Emissionsminderungsanlage mit einem Reagens funktioniert, die Eigenschaften desselben (Art, Konzentration in Lösung, Betriebstemperatur, Verweise auf internationale Normen für die Zusammensetzung und Qualität), die mit der Spezifikation in der EU-Typgenehmigung des Motors in Einklang stehen müssen;

18) gegebenenfalls Anweisungen mit der Angabe, ob das Bedienpersonal zwischen den planmäßigen Wartungen selbstverbrauchende Reagenzien nachfüllen muss. Dabei ist das Befüllen des Reagensbehälters durch das Bedienpersonal zu beschreiben und anzugeben, mit welcher Häufigkeit je nach Verwendung der Maschine bzw. des Geräts ein Nachfüllen voraussichtlich erforderlich ist;

19) einen Hinweis darauf, dass zur Wahrung der Emissionsleistung des Motors die Verwendung und das Nachfüllen des Reagens gemäß den Spezifikationen nach den Nummern 17 und 18 wesentlich sind;

20) planmäßige emissionsrelevante Wartungserfordernisse, darunter der etwaige planmäßige Austausch kritischer emissionsrelevanter Bauteile;

21) bei Zweistoffmotoren:

a) gegebenenfalls Informationen über die Zweistoffbetriebsanzeiger nach Anhang VIII Abschnitt 4.3;

b) bestehen bei einem Zweistoffmotor Betriebsbeschränkungen im Wartungsbetrieb gemäß Anhang VIII Nummer 4.2.2.1 (mit Ausnahme der Klassen IWP, IWA, RLL und RLR), einen Hinweis darauf, dass die Aktivierung des Wartungsbetriebs die effektive Deaktivierung des Betriebs der Maschine bzw. des Geräts nach sich zieht;

c) besteht eine Funktion zur Übersteuerung des Aufforderungssystems, mit der die volle Motorleistung erreicht werden kann, Informationen über deren Betrieb;

d) arbeitet ein Zweistoffmotor im Wartungsbetrieb gemäß Anhang VIII Nummer 4.2.2.2 (Klassen IWP, IWA, RLL und RLR), einen Hinweis darauf, dass die Aktivierung des Wartungsbetriebs im Bordcomputerprotokoll aufgezeichnet wird und dass die nationalen Kontrollbehörden solche Aufzeichnungen mit einem Lesegerät lesen können.

4. Der Originalgerätehersteller teilt dem Endnutzer gemäß Artikel 43 Absatz 4 der Verordnung (EU) 2016/1628 den im Zuge des EU-Typgenehmigungsverfahrens ermittelten und im Typgenehmigungsbogen verzeichneten Wert der Kohlendioxid-Emissionen ($CO_2$) in g/kWh zusammen mit folgendem Hinweis mit: „*Diese $CO_2$-Messung ist das Ergebnis der Erprobung eines für den Motortyp bzw. die Motorenfamilie repräsentativen (Stamm-)Motors in einem festen Prüfzyklus unter Laborbedingungen und stellt keine ausdrückliche oder implizite Garantie der Leistung eines bestimmten Motors dar*“.

▼B

*ANHANG XVI*

**Leistungsnormen und Bewertung technischer Dienste**

1. **Allgemeine Anforderungen**

Die technischen Dienste müssen einschlägige Fähigkeiten, spezifisches Fachwissen und Erfahrungen in den speziellen Bereichen nachweisen, die von der Verordnung (EU) 2016/1628 und den nach ihr erlassenen delegierten Rechtsakten und Durchführungsrechtsakten erfasst werden.

2. **Von den technischen Diensten zu erfüllende Normen**

2.1. Technische Dienste der verschiedenen Kategorien nach Artikel 45 der Verordnung (EU) 2016/1628 müssen den für ihre Tätigkeit relevanten, in Anhang V Anlage 1 der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates ([1]) aufgeführten Normen entsprechen.

2.2. Die Bezugnahme auf Artikel 41 der Richtlinie 2007/46/EG in der genannten Anlage gilt als Bezugnahme auf Artikel 45 der Verordnung (EU) 2016/1628.

2.3. Die Bezugnahme auf Anhang IV der Richtlinie 2007/46/EG in der genannten Anlage gilt als Bezugnahme auf die Verordnung (EU) 2016/1628 und die gemäß dieser Verordnung erlassenen delegierten Rechtsakte und Durchführungsrechtsakte.

3. **Verfahren zur Bewertung der technischen Dienste**

3.1. Die Erfüllung der Anforderungen der Verordnung (EU) 2016/1628 und der gemäß der genannten Verordnung erlassenen delegierten Rechtsakte und Durchführungsrechtsakte durch die technischen Dienste wird gemäß dem Verfahren in Anhang V Anlage 2 der Richtlinie 2007/46/EG bewertet.

3.2. Bezugnahmen auf Artikel 42 der Richtlinie 2007/46/EG in Anhang V Anlage 2 der Richtlinie 2007/46/EG gelten als Bezugnahmen auf Artikel 48 der Verordnung (EU) 2016/1628.

([1]) Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (ABl. L 263 vom 9.10.2007, S. 1).

▼B

*ANHANG XVII*

**Merkmale der stationären und dynamischen Prüfzyklen**

1. Anlage 1 enthält Tabellen der Prüfphasen und Wichtungsfaktoren für Einzelphasen-NRSC.

2. Anlage 2 enthält Tabellen der Prüfphasen und Wichtungsfaktoren für RMC.

3. Anlage 3 enthält Tabellen der Motorleistungsprüfstands-Ablaufpläne für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC).

▼B

*Anlage 1*

**Stationäre Einzelphasen-NRSC**

**Prüfzyklen Typ C**

**Tabelle der Zyklus-C1-Prüfphasen und Wichtungsfaktoren**

| Nummer der Prüfphase | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Drehzahl [a] | 100 % | | | | Mittlere Drehzahl | | | Leerlauf |
| Drehmoment [b] (%) | 100 | 75 | 50 | 10 | 100 | 75 | 50 | 0 |
| Wichtungsfaktor | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 |

[a] Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
[b] Das Drehmoment in % bezieht sich auf das maximale Drehmoment bei der geregelten Motordrehzahl.

**Tabelle der Zyklus-C2-Prüfphasen und Wichtungsfaktoren**

| Prüfphase | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Drehzahl [a] | 100 % | Mittlere Drehzahl | | | | | Leerlauf |
| Drehmoment [b] (%) | 25 | 100 | 75 | 50 | 25 | 10 | 0 |
| Wichtungsfaktor | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,32 | 0,30 | 0,10 | 0,15 |

[a] Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
[b] Das Drehmoment in % bezieht sich auf das maximale Drehmoment bei der geregelten Motordrehzahl.

**Prüfzyklen Typ D**

**Tabelle der Zyklus-D2-Prüfphasen und Gewichtungsfaktoren**

| Prüfphase (Zyklus D2) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehzahl [a] | 100 % | | | | |
| Drehmoment [b] (%) | 100 | 75 | 50 | 25 | 10 |
| Wichtungsfaktor | 0,05 | 0,25 | 0,3 | 0,3 | 0,1 |

[a] Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
[b] Das Drehmoment in % bezieht sich auf das dem Nennwert der Nutzleistung nach Herstellerangabe entsprechende Drehmoment.

**Prüfzyklen Typ E**

**Tabelle der Zyklus-E-Prüfphasen und Wichtungsfaktoren**

| Prüfphase (Zyklus E2) | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Drehzahl [a] | 100 % | | | | Mittlere Drehzahl | | | | | |
| Drehmoment [b] (%) | 100 | 75 | 50 | 25 | | | | | | |
| Wichtungsfaktor | 0,2 | 0,5 | 0,15 | 0,15 | | | | | | |

▼B

| Prüfphase (Zyklus E3) | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Drehzahl (a) (%) | 100 | 91 | 80 | 63 |
| Leistung (c) (%) | 100 | 75 | 50 | 25 |
| Wichtungsfaktor | 0,2 | 0,5 | 0,15 | 0,15 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Das Drehmoment in % bezieht sich auf das dem Nennwert der Nutzleistung nach Herstellerangabe entsprechende Drehmoment bei der geregelten Motordrehzahl.
(c) Die Leistung in % bezieht sich auf die maximale Leistung bei Höchstdrehzahl (100 %).

**Prüfzyklen Typ F**

**Tabelle der Zyklus-F-Prüfphasen und Gewichtungsfaktoren**

| Nummer der Prüfphase | 1 | 2 (d) | 3 |
|---|---|---|---|
| Drehzahl (a) | 100 % | Mittlere Drehzahl | Leerlauf |
| Leistung (%) | 100 (c) | 50 (c) | 5 (b) |
| Wichtungsfaktor | 0,15 | 0,25 | 0,6 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Die Leistung in % bei dieser Phase bezieht sich auf die Leistung in Phase 1.
(c) Die Leistung in % bei dieser Phase bezieht sich auf die maximale Nutzleistung bei der geregelten Motordrehzahl.
(d) Für Motoren mit diskreter Steuerung (Stufen) ist Phase 2 definiert als Betrieb in der Stufe, die Phase 2 oder 35 % der Nennleistung am nächsten liegt.

**Prüfzyklen Typ G**

**Tabelle der Zyklus-G-Prüfphasen und Gewichtungsfaktoren**

| Nummer der Prüfphase (Zyklus G1) | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Drehzahl (a) | 100 % | | | | | Mittlere Drehzahl | | | | | Leerlauf |
| Drehmoment (b) % | | | | | | 100 | 75 | 50 | 25 | 10 | 0 |
| Wichtungsfaktor | | | | | | 0,09 | 0,20 | 0,29 | 0,30 | 0,07 | 0,05 |
| Nummer der Prüfphase (Zyklus G2) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | 6 |
| Drehzahl (a) | 100 % | | | | | Mittlere Drehzahl | | | | | Leerlauf |
| Drehmoment (b) % | 100 | 75 | 50 | 25 | 10 | | | | | | 0 |
| Wichtungsfaktor | 0,09 | 0,20 | 0,29 | 0,30 | 0,07 | | | | | | 0,05 |
| Nummer der Prüfphase (Zyklus G3) | 1 | | | | | | | | | | 2 |
| Drehzahl (a) | 100 % | | | | | Mittlere Drehzahl | | | | | Leerlauf |
| Drehmoment (b) % | 100 | | | | | | | | | | 0 |
| Wichtungsfaktor | 0,85 | | | | | | | | | | 0,15 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Das Drehmoment in % bezieht sich auf das maximale Drehmoment bei der geregelten Motordrehzahl.

▼B

**Prüfzyklen Typ H**

**Tabelle der Zyklus-H-Prüfphasen und Gewichtungsfaktoren**

| Nummer der Prüfphase | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehzahl [a] (%) | 100 | 85 | 75 | 65 | Leerlauf |
| Drehmoment [b] (%) | 100 | 51 | 33 | 19 | 0 |
| Wichtungsfaktor | 0,12 | 0,27 | 0,25 | 0,31 | 0,05 |

[a] Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
[b] Das Drehmoment in % bezieht sich auf das maximale Drehmoment bei der geregelten Motordrehzahl.

▼B

*Anlage 2*

**Stationäre gestufte Mehrphasen-Prüfzyklen (RMC)**

**Prüfzyklen Typ C**

**Tabelle der RMC-C1-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (c) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 126 | Leerlauf | 0 |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 159 | Mittlere Drehzahl | 100 |
| 2b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 160 | Mittlere Drehzahl | 50 |
| 3b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 4a Stationär | 162 | Mittlere Drehzahl | 75 |
| 4b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 5a Stationär | 246 | 100 % | 100 |
| 5b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 6a Stationär | 164 | 100 % | 10 |
| 6b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 7a Stationär | 248 | 100 % | 75 |
| 7b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 8a Stationär | 247 | 100 % | 50 |
| 8b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 9 Stationär | 128 | Leerlauf | 0 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(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.

**Tabelle der RMC-C2-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (c) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 119 | Leerlauf | 0 |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 29 | Mittlere Drehzahl | 100 |

▼B

| RMC<br>Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (c) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 2b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 150 | Mittlere Drehzahl | 10 |
| 3b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 4a Stationär | 80 | Mittlere Drehzahl | 75 |
| 4b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 5a Stationär | 513 | Mittlere Drehzahl | 25 |
| 5b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 6a Stationär | 549 | Mittlere Drehzahl | 50 |
| 6b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 7a Stationär | 96 | 100 % | 25 |
| 7b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 8 Stationär | 124 | Leerlauf | 0 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(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.

**Prüfzyklen Typ D**

**Tabelle der RMC-D2-Prüfphasen**

| RMC<br>Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (%) (a) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 53 | 100 | 100 |
| 1b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 101 | 100 | 10 |
| 2b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 277 | 100 | 75 |
| 3b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 4a Stationär | 339 | 100 | 25 |
| 4b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 5 Stationär | 350 | 100 | 50 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Das Drehmoment in % bezieht sich auf das dem Nennwert der Nutzleistung nach Herstellerangabe entsprechende Drehmoment.
(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.

▼B

**Prüfzyklen Typ E**

**Tabelle der RMC-E2-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (%) (a) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 229 | 100 | 100 |
| 1b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 166 | 100 | 25 |
| 2b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 570 | 100 | 75 |
| 3b Übergang | 20 | 100 | Linearer Übergang |
| 4 Stationär | 175 | 100 | 50 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Das Drehmoment in % bezieht sich auf das dem Nennwert der Nutzleistung nach Herstellerangabe entsprechende 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.

**Tabelle der RMC-E3-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl % (a) (c) | Leistung (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 229 | 100 | 100 |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 166 | 63 | 25 |
| 2b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 570 | 91 | 75 |
| 3b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 4 Stationär | 175 | 80 | 50 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Die Leistung in % bezieht sich auf die maximale Nutzleistung bei Höchstdrehzahl (100 %).
(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.

**Prüfzyklen Typ F**

**Tabelle der RMC-F-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (e) | Leistung (%) (e) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 350 | Leerlauf | 5 (b) |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär (d) | 280 | Mittlere Drehzahl | 50 (c) |

▼B

| RMC<br>Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (e) | Leistung (%) (e) |
|---|---|---|---|
| 2b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 160 | 100 % | 100 (c) |
| 3b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 4 Stationär | 350 | Leerlauf | 5 (c) |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(b) Die Leistung in % bei dieser Phase bezieht sich auf die Leistung in Phase 3a.
(c) Die Leistung in % bei dieser Phase bezieht sich auf die maximale Nutzleistung bei der geregelten Motordrehzahl.
(d) Für Motoren mit diskreter Steuerung (Stufen) ist Phase 2a definiert als Betrieb in der Stufe, die Phase 2a oder 35 % der Nennleistung am nächsten liegt.
(e) 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.

**Prüfzyklen Typ G**

**Tabelle der RMC-G1-Prüfphasen**

| RMC<br>Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (c) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 41 | Leerlauf | 0 |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 135 | Mittlere Drehzahl | 100 |
| 2b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 112 | Mittlere Drehzahl | 10 |
| 3b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 4a Stationär | 337 | Mittlere Drehzahl | 75 |
| 4b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 5a Stationär | 518 | Mittlere Drehzahl | 25 |
| 5b Übergang | 20 | Mittlere Drehzahl | Linearer Übergang |
| 6a Stationär | 494 | Mittlere Drehzahl | 50 |
| 6b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 7 Stationär | 43 | Leerlauf | 0 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(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

**Tabelle der RMC-G2-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (c) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 41 | Leerlauf | 0 |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 135 | 100 % | 100 |
| 2b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 112 | 100 % | 10 |
| 3b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 4a Stationär | 337 | 100 % | 75 |
| 4b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 5a Stationär | 518 | 100 % | 25 |
| 5b Übergang | 20 | 100 % | Linearer Übergang |
| 6a Stationär | 494 | 100 % | 50 |
| 6b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 7 Stationär | 43 | Leerlauf | 0 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(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.

**Prüfzyklen Typ H**

**Tabelle der RMC-H-Prüfphasen**

| RMC Nummer der Prüfphase | Zeit in der Prüfphase [s] | Motordrehzahl (a) (c) | Drehmoment (%) (b) (c) |
|---|---|---|---|
| 1a Stationär | 27 | Leerlauf | 0 |
| 1b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 2a Stationär | 121 | 100 % | 100 |
| 2b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 3a Stationär | 347 | 65 % | 19 |
| 3b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 4a Stationär | 305 | 85 % | 51 |
| 4b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 5a Stationär | 272 | 75 % | 33 |
| 5b Übergang | 20 | Linearer Übergang | Linearer Übergang |
| 6 Stationär | 28 | Leerlauf | 0 |

(a) Zur Ermittlung der vorgeschriebenen Prüfdrehzahlen siehe Anhang VI Nummern 5.2.5, 7.6 und 7.7.
(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

*Anlage 3*

2.4.2.1 **Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC)**

**NRTC-Ablaufplan für den Motorleistungprüfstand**

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) | Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) | Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 37 | 33 | 42 | 73 | 62 | 24 |
| 2 | 0 | 0 | 38 | 57 | 46 | 74 | 64 | 8 |
| 3 | 0 | 0 | 39 | 44 | 33 | 75 | 58 | 44 |
| 4 | 0 | 0 | 40 | 31 | 0 | 76 | 65 | 10 |
| 5 | 0 | 0 | 41 | 22 | 27 | 77 | 65 | 12 |
| 6 | 0 | 0 | 42 | 33 | 43 | 78 | 68 | 23 |
| 7 | 0 | 0 | 43 | 80 | 49 | 79 | 69 | 30 |
| 8 | 0 | 0 | 44 | 105 | 47 | 80 | 71 | 30 |
| 9 | 0 | 0 | 45 | 98 | 70 | 81 | 74 | 15 |
| 10 | 0 | 0 | 46 | 104 | 36 | 82 | 71 | 23 |
| 11 | 0 | 0 | 47 | 104 | 65 | 83 | 73 | 20 |
| 12 | 0 | 0 | 48 | 96 | 71 | 84 | 73 | 21 |
| 13 | 0 | 0 | 49 | 101 | 62 | 85 | 73 | 19 |
| 14 | 0 | 0 | 50 | 102 | 51 | 86 | 70 | 33 |
| 15 | 0 | 0 | 51 | 102 | 50 | 87 | 70 | 34 |
| 16 | 0 | 0 | 52 | 102 | 46 | 88 | 65 | 47 |
| 17 | 0 | 0 | 53 | 102 | 41 | 89 | 66 | 47 |
| 18 | 0 | 0 | 54 | 102 | 31 | 90 | 64 | 53 |
| 19 | 0 | 0 | 55 | 89 | 2 | 91 | 65 | 45 |
| 20 | 0 | 0 | 56 | 82 | 0 | 92 | 66 | 38 |
| 21 | 0 | 0 | 57 | 47 | 1 | 93 | 67 | 49 |
| 22 | 0 | 0 | 58 | 23 | 1 | 94 | 69 | 39 |
| 23 | 0 | 0 | 59 | 1 | 3 | 95 | 69 | 39 |
| 24 | 1 | 3 | 60 | 1 | 8 | 96 | 66 | 42 |
| 25 | 1 | 3 | 61 | 1 | 3 | 97 | 71 | 29 |
| 26 | 1 | 3 | 62 | 1 | 5 | 98 | 75 | 29 |
| 27 | 1 | 3 | 63 | 1 | 6 | 99 | 72 | 23 |
| 28 | 1 | 3 | 64 | 1 | 4 | 100 | 74 | 22 |
| 29 | 1 | 3 | 65 | 1 | 4 | 101 | 75 | 24 |
| 30 | 1 | 6 | 66 | 0 | 6 | 102 | 73 | 30 |
| 31 | 1 | 6 | 67 | 1 | 4 | 103 | 74 | 24 |
| 32 | 2 | 1 | 68 | 9 | 21 | 104 | 77 | 6 |
| 33 | 4 | 13 | 69 | 25 | 56 | 105 | 76 | 12 |
| 34 | 7 | 18 | 70 | 64 | 26 | 106 | 74 | 39 |
| 35 | 9 | 21 | 71 | 60 | 31 | 107 | 72 | 30 |
| 36 | 17 | 20 | 72 | 63 | 20 | 108 | 75 | 22 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 109 | 78 | 64 |
| 110 | 102 | 34 |
| 111 | 103 | 28 |
| 112 | 103 | 28 |
| 113 | 103 | 19 |
| 114 | 103 | 32 |
| 115 | 104 | 25 |
| 116 | 103 | 38 |
| 117 | 103 | 39 |
| 118 | 103 | 34 |
| 119 | 102 | 44 |
| 120 | 103 | 38 |
| 121 | 102 | 43 |
| 122 | 103 | 34 |
| 123 | 102 | 41 |
| 124 | 103 | 44 |
| 125 | 103 | 37 |
| 126 | 103 | 27 |
| 127 | 104 | 13 |
| 128 | 104 | 30 |
| 129 | 104 | 19 |
| 130 | 103 | 28 |
| 131 | 104 | 40 |
| 132 | 104 | 32 |
| 133 | 101 | 63 |
| 134 | 102 | 54 |
| 135 | 102 | 52 |
| 136 | 102 | 51 |
| 137 | 103 | 40 |
| 138 | 104 | 34 |
| 139 | 102 | 36 |
| 140 | 104 | 44 |
| 141 | 103 | 44 |
| 142 | 104 | 33 |
| 143 | 102 | 27 |
| 144 | 103 | 26 |
| 145 | 79 | 53 |
| 146 | 51 | 37 |
| 147 | 24 | 23 |
| 148 | 13 | 33 |
| 149 | 19 | 55 |
| 150 | 45 | 30 |
| 151 | 34 | 7 |
| 152 | 14 | 4 |
| 153 | 8 | 16 |
| 154 | 15 | 6 |
| 155 | 39 | 47 |
| 156 | 39 | 4 |
| 157 | 35 | 26 |
| 158 | 27 | 38 |
| 159 | 43 | 40 |
| 160 | 14 | 23 |
| 161 | 10 | 10 |
| 162 | 15 | 33 |
| 163 | 35 | 72 |
| 164 | 60 | 39 |
| 165 | 55 | 31 |
| 166 | 47 | 30 |
| 167 | 16 | 7 |
| 168 | 0 | 6 |
| 169 | 0 | 8 |
| 170 | 0 | 8 |
| 171 | 0 | 2 |
| 172 | 2 | 17 |
| 173 | 10 | 28 |
| 174 | 28 | 31 |
| 175 | 33 | 30 |
| 176 | 36 | 0 |
| 177 | 19 | 10 |
| 178 | 1 | 18 |
| 179 | 0 | 16 |
| 180 | 1 | 3 |
| 181 | 1 | 4 |
| 182 | 1 | 5 |
| 183 | 1 | 6 |
| 184 | 1 | 5 |
| 185 | 1 | 3 |
| 186 | 1 | 4 |
| 187 | 1 | 4 |
| 188 | 1 | 6 |
| 189 | 8 | 18 |
| 190 | 20 | 51 |
| 191 | 49 | 19 |
| 192 | 41 | 13 |
| 193 | 31 | 16 |
| 194 | 28 | 21 |
| 195 | 21 | 17 |
| 196 | 31 | 21 |
| 197 | 21 | 8 |
| 198 | 0 | 14 |
| 199 | 0 | 12 |
| 200 | 3 | 8 |
| 201 | 3 | 22 |
| 202 | 12 | 20 |
| 203 | 14 | 20 |
| 204 | 16 | 17 |
| 205 | 20 | 18 |
| 206 | 27 | 34 |
| 207 | 32 | 33 |
| 208 | 41 | 31 |
| 209 | 43 | 31 |
| 210 | 37 | 33 |
| 211 | 26 | 18 |
| 212 | 18 | 29 |
| 213 | 14 | 51 |
| 214 | 13 | 11 |
| 215 | 12 | 9 |
| 216 | 15 | 33 |
| 217 | 20 | 25 |
| 218 | 25 | 17 |
| 219 | 31 | 29 |
| 220 | 36 | 66 |
| 221 | 66 | 40 |
| 222 | 50 | 13 |
| 223 | 16 | 24 |
| 224 | 26 | 50 |
| 225 | 64 | 23 |
| 226 | 81 | 20 |
| 227 | 83 | 11 |
| 228 | 79 | 23 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 229 | 76 | 31 |
| 230 | 68 | 24 |
| 231 | 59 | 33 |
| 232 | 59 | 3 |
| 233 | 25 | 7 |
| 234 | 21 | 10 |
| 235 | 20 | 19 |
| 236 | 4 | 10 |
| 237 | 5 | 7 |
| 238 | 4 | 5 |
| 239 | 4 | 6 |
| 240 | 4 | 6 |
| 241 | 4 | 5 |
| 242 | 7 | 5 |
| 243 | 16 | 28 |
| 244 | 28 | 25 |
| 245 | 52 | 53 |
| 246 | 50 | 8 |
| 247 | 26 | 40 |
| 248 | 48 | 29 |
| 249 | 54 | 39 |
| 250 | 60 | 42 |
| 251 | 48 | 18 |
| 252 | 54 | 51 |
| 253 | 88 | 90 |
| 254 | 103 | 84 |
| 255 | 103 | 85 |
| 256 | 102 | 84 |
| 257 | 58 | 66 |
| 258 | 64 | 97 |
| 259 | 56 | 80 |
| 260 | 51 | 67 |
| 261 | 52 | 96 |
| 262 | 63 | 62 |
| 263 | 71 | 6 |
| 264 | 33 | 16 |
| 265 | 47 | 45 |
| 266 | 43 | 56 |
| 267 | 42 | 27 |
| 268 | 42 | 64 |
| 269 | 75 | 74 |
| 270 | 68 | 96 |
| 271 | 86 | 61 |
| 272 | 66 | 0 |
| 273 | 37 | 0 |
| 274 | 45 | 37 |
| 275 | 68 | 96 |
| 276 | 80 | 97 |
| 277 | 92 | 96 |
| 278 | 90 | 97 |
| 279 | 82 | 96 |
| 280 | 94 | 81 |
| 281 | 90 | 85 |
| 282 | 96 | 65 |
| 283 | 70 | 96 |
| 284 | 55 | 95 |
| 285 | 70 | 96 |
| 286 | 79 | 96 |
| 287 | 81 | 71 |
| 288 | 71 | 60 |
| 289 | 92 | 65 |
| 290 | 82 | 63 |
| 291 | 61 | 47 |
| 292 | 52 | 37 |
| 293 | 24 | 0 |
| 294 | 20 | 7 |
| 295 | 39 | 48 |
| 296 | 39 | 54 |
| 297 | 63 | 58 |
| 298 | 53 | 31 |
| 299 | 51 | 24 |
| 300 | 48 | 40 |
| 301 | 39 | 0 |
| 302 | 35 | 18 |
| 303 | 36 | 16 |
| 304 | 29 | 17 |
| 305 | 28 | 21 |
| 306 | 31 | 15 |
| 307 | 31 | 10 |
| 308 | 43 | 19 |
| 309 | 49 | 63 |
| 310 | 78 | 61 |
| 311 | 78 | 46 |
| 312 | 66 | 65 |
| 313 | 78 | 97 |
| 314 | 84 | 63 |
| 315 | 57 | 26 |
| 316 | 36 | 22 |
| 317 | 20 | 34 |
| 318 | 19 | 8 |
| 319 | 9 | 10 |
| 320 | 5 | 5 |
| 321 | 7 | 11 |
| 322 | 15 | 15 |
| 323 | 12 | 9 |
| 324 | 13 | 27 |
| 325 | 15 | 28 |
| 326 | 16 | 28 |
| 327 | 16 | 31 |
| 328 | 15 | 20 |
| 329 | 17 | 0 |
| 330 | 20 | 34 |
| 331 | 21 | 25 |
| 332 | 20 | 0 |
| 333 | 23 | 25 |
| 334 | 30 | 58 |
| 335 | 63 | 96 |
| 336 | 83 | 60 |
| 337 | 61 | 0 |
| 338 | 26 | 0 |
| 339 | 29 | 44 |
| 340 | 68 | 97 |
| 341 | 80 | 97 |
| 342 | 88 | 97 |
| 343 | 99 | 88 |
| 344 | 102 | 86 |
| 345 | 100 | 82 |
| 346 | 74 | 79 |
| 347 | 57 | 79 |
| 348 | 76 | 97 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 349 | 84 | 97 |
| 350 | 86 | 97 |
| 351 | 81 | 98 |
| 352 | 83 | 83 |
| 353 | 65 | 96 |
| 354 | 93 | 72 |
| 355 | 63 | 60 |
| 356 | 72 | 49 |
| 357 | 56 | 27 |
| 358 | 29 | 0 |
| 359 | 18 | 13 |
| 360 | 25 | 11 |
| 361 | 28 | 24 |
| 362 | 34 | 53 |
| 363 | 65 | 83 |
| 364 | 80 | 44 |
| 365 | 77 | 46 |
| 366 | 76 | 50 |
| 367 | 45 | 52 |
| 368 | 61 | 98 |
| 369 | 61 | 69 |
| 370 | 63 | 49 |
| 371 | 32 | 0 |
| 372 | 10 | 8 |
| 373 | 17 | 7 |
| 374 | 16 | 13 |
| 375 | 11 | 6 |
| 376 | 9 | 5 |
| 377 | 9 | 12 |
| 378 | 12 | 46 |
| 379 | 15 | 30 |
| 380 | 26 | 28 |
| 381 | 13 | 9 |
| 382 | 16 | 21 |
| 383 | 24 | 4 |
| 384 | 36 | 43 |
| 385 | 65 | 85 |
| 386 | 78 | 66 |
| 387 | 63 | 39 |
| 388 | 32 | 34 |
| 389 | 46 | 55 |
| 390 | 47 | 42 |
| 391 | 42 | 39 |
| 392 | 27 | 0 |
| 393 | 14 | 5 |
| 394 | 14 | 14 |
| 395 | 24 | 54 |
| 396 | 60 | 90 |
| 397 | 53 | 66 |
| 398 | 70 | 48 |
| 399 | 77 | 93 |
| 400 | 79 | 67 |
| 401 | 46 | 65 |
| 402 | 69 | 98 |
| 403 | 80 | 97 |
| 404 | 74 | 97 |
| 405 | 75 | 98 |
| 406 | 56 | 61 |
| 407 | 42 | 0 |
| 408 | 36 | 32 |
| 409 | 34 | 43 |
| 410 | 68 | 83 |
| 411 | 102 | 48 |
| 412 | 62 | 0 |
| 413 | 41 | 39 |
| 414 | 71 | 86 |
| 415 | 91 | 52 |
| 416 | 89 | 55 |
| 417 | 89 | 56 |
| 418 | 88 | 58 |
| 419 | 78 | 69 |
| 420 | 98 | 39 |
| 421 | 64 | 61 |
| 422 | 90 | 34 |
| 423 | 88 | 38 |
| 424 | 97 | 62 |
| 425 | 100 | 53 |
| 426 | 81 | 58 |
| 427 | 74 | 51 |
| 428 | 76 | 57 |
| 429 | 76 | 72 |
| 430 | 85 | 72 |
| 431 | 84 | 60 |
| 432 | 83 | 72 |
| 433 | 83 | 72 |
| 434 | 86 | 72 |
| 435 | 89 | 72 |
| 436 | 86 | 72 |
| 437 | 87 | 72 |
| 438 | 88 | 72 |
| 439 | 88 | 71 |
| 440 | 87 | 72 |
| 441 | 85 | 71 |
| 442 | 88 | 72 |
| 443 | 88 | 72 |
| 444 | 84 | 72 |
| 445 | 83 | 73 |
| 446 | 77 | 73 |
| 447 | 74 | 73 |
| 448 | 76 | 72 |
| 449 | 46 | 77 |
| 450 | 78 | 62 |
| 451 | 79 | 35 |
| 452 | 82 | 38 |
| 453 | 81 | 41 |
| 454 | 79 | 37 |
| 455 | 78 | 35 |
| 456 | 78 | 38 |
| 457 | 78 | 46 |
| 458 | 75 | 49 |
| 459 | 73 | 50 |
| 460 | 79 | 58 |
| 461 | 79 | 71 |
| 462 | 83 | 44 |
| 463 | 53 | 48 |
| 464 | 40 | 48 |
| 465 | 51 | 75 |
| 466 | 75 | 72 |
| 467 | 89 | 67 |
| 468 | 93 | 60 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 469 | 89 | 73 |
| 470 | 86 | 73 |
| 471 | 81 | 73 |
| 472 | 78 | 73 |
| 473 | 78 | 73 |
| 474 | 76 | 73 |
| 475 | 79 | 73 |
| 476 | 82 | 73 |
| 477 | 86 | 73 |
| 478 | 88 | 72 |
| 479 | 92 | 71 |
| 480 | 97 | 54 |
| 481 | 73 | 43 |
| 482 | 36 | 64 |
| 483 | 63 | 31 |
| 484 | 78 | 1 |
| 485 | 69 | 27 |
| 486 | 67 | 28 |
| 487 | 72 | 9 |
| 488 | 71 | 9 |
| 489 | 78 | 36 |
| 490 | 81 | 56 |
| 491 | 75 | 53 |
| 492 | 60 | 45 |
| 493 | 50 | 37 |
| 494 | 66 | 41 |
| 495 | 51 | 61 |
| 496 | 68 | 47 |
| 497 | 29 | 42 |
| 498 | 24 | 73 |
| 499 | 64 | 71 |
| 500 | 90 | 71 |
| 501 | 100 | 61 |
| 502 | 94 | 73 |
| 503 | 84 | 73 |
| 504 | 79 | 73 |
| 505 | 75 | 72 |
| 506 | 78 | 73 |
| 507 | 80 | 73 |
| 508 | 81 | 73 |

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 509 | 81 | 73 |
| 510 | 83 | 73 |
| 511 | 85 | 73 |
| 512 | 84 | 73 |
| 513 | 85 | 73 |
| 514 | 86 | 73 |
| 515 | 85 | 73 |
| 516 | 85 | 73 |
| 517 | 85 | 72 |
| 518 | 85 | 73 |
| 519 | 83 | 73 |
| 520 | 79 | 73 |
| 521 | 78 | 73 |
| 522 | 81 | 73 |
| 523 | 82 | 72 |
| 524 | 94 | 56 |
| 525 | 66 | 48 |
| 526 | 35 | 71 |
| 527 | 51 | 44 |
| 528 | 60 | 23 |
| 529 | 64 | 10 |
| 530 | 63 | 14 |
| 531 | 70 | 37 |
| 532 | 76 | 45 |
| 533 | 78 | 18 |
| 534 | 76 | 51 |
| 535 | 75 | 33 |
| 536 | 81 | 17 |
| 537 | 76 | 45 |
| 538 | 76 | 30 |
| 539 | 80 | 14 |
| 540 | 71 | 18 |
| 541 | 71 | 14 |
| 542 | 71 | 11 |
| 543 | 65 | 2 |
| 544 | 31 | 26 |
| 545 | 24 | 72 |
| 546 | 64 | 70 |
| 547 | 77 | 62 |
| 548 | 80 | 68 |

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 549 | 83 | 53 |
| 550 | 83 | 50 |
| 551 | 83 | 50 |
| 552 | 85 | 43 |
| 553 | 86 | 45 |
| 554 | 89 | 35 |
| 555 | 82 | 61 |
| 556 | 87 | 50 |
| 557 | 85 | 55 |
| 558 | 89 | 49 |
| 559 | 87 | 70 |
| 560 | 91 | 39 |
| 561 | 72 | 3 |
| 562 | 43 | 25 |
| 563 | 30 | 60 |
| 564 | 40 | 45 |
| 565 | 37 | 32 |
| 566 | 37 | 32 |
| 567 | 43 | 70 |
| 568 | 70 | 54 |
| 569 | 77 | 47 |
| 570 | 79 | 66 |
| 571 | 85 | 53 |
| 572 | 83 | 57 |
| 573 | 86 | 52 |
| 574 | 85 | 51 |
| 575 | 70 | 39 |
| 576 | 50 | 5 |
| 577 | 38 | 36 |
| 578 | 30 | 71 |
| 579 | 75 | 53 |
| 580 | 84 | 40 |
| 581 | 85 | 42 |
| 582 | 86 | 49 |
| 583 | 86 | 57 |
| 584 | 89 | 68 |
| 585 | 99 | 61 |
| 586 | 77 | 29 |
| 587 | 81 | 72 |
| 588 | 89 | 69 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 589 | 49 | 56 |
| 590 | 79 | 70 |
| 591 | 104 | 59 |
| 592 | 103 | 54 |
| 593 | 102 | 56 |
| 594 | 102 | 56 |
| 595 | 103 | 61 |
| 596 | 102 | 64 |
| 597 | 103 | 60 |
| 598 | 93 | 72 |
| 599 | 86 | 73 |
| 600 | 76 | 73 |
| 601 | 59 | 49 |
| 602 | 46 | 22 |
| 603 | 40 | 65 |
| 604 | 72 | 31 |
| 605 | 72 | 27 |
| 606 | 67 | 44 |
| 607 | 68 | 37 |
| 608 | 67 | 42 |
| 609 | 68 | 50 |
| 610 | 77 | 43 |
| 611 | 58 | 4 |
| 612 | 22 | 37 |
| 613 | 57 | 69 |
| 614 | 68 | 38 |
| 615 | 73 | 2 |
| 616 | 40 | 14 |
| 617 | 42 | 38 |
| 618 | 64 | 69 |
| 619 | 64 | 74 |
| 620 | 67 | 73 |
| 621 | 65 | 73 |
| 622 | 68 | 73 |
| 623 | 65 | 49 |
| 624 | 81 | 0 |
| 625 | 37 | 25 |
| 626 | 24 | 69 |
| 627 | 68 | 71 |
| 628 | 70 | 71 |
| 629 | 76 | 70 |
| 630 | 71 | 72 |
| 631 | 73 | 69 |
| 632 | 76 | 70 |
| 633 | 77 | 72 |
| 634 | 77 | 72 |
| 635 | 77 | 72 |
| 636 | 77 | 70 |
| 637 | 76 | 71 |
| 638 | 76 | 71 |
| 639 | 77 | 71 |
| 640 | 77 | 71 |
| 641 | 78 | 70 |
| 642 | 77 | 70 |
| 643 | 77 | 71 |
| 644 | 79 | 72 |
| 645 | 78 | 70 |
| 646 | 80 | 70 |
| 647 | 82 | 71 |
| 648 | 84 | 71 |
| 649 | 83 | 71 |
| 650 | 83 | 73 |
| 651 | 81 | 70 |
| 652 | 80 | 71 |
| 653 | 78 | 71 |
| 654 | 76 | 70 |
| 655 | 76 | 70 |
| 656 | 76 | 71 |
| 657 | 79 | 71 |
| 658 | 78 | 71 |
| 659 | 81 | 70 |
| 660 | 83 | 72 |
| 661 | 84 | 71 |
| 662 | 86 | 71 |
| 663 | 87 | 71 |
| 664 | 92 | 72 |
| 665 | 91 | 72 |
| 666 | 90 | 71 |
| 667 | 90 | 71 |
| 668 | 91 | 71 |
| 669 | 90 | 70 |
| 670 | 90 | 72 |
| 671 | 91 | 71 |
| 672 | 90 | 71 |
| 673 | 90 | 71 |
| 674 | 92 | 72 |
| 675 | 93 | 69 |
| 676 | 90 | 70 |
| 677 | 93 | 72 |
| 678 | 91 | 70 |
| 679 | 89 | 71 |
| 680 | 91 | 71 |
| 681 | 90 | 71 |
| 682 | 90 | 71 |
| 683 | 92 | 71 |
| 684 | 91 | 71 |
| 685 | 93 | 71 |
| 686 | 93 | 68 |
| 687 | 98 | 68 |
| 688 | 98 | 67 |
| 689 | 100 | 69 |
| 690 | 99 | 68 |
| 691 | 100 | 71 |
| 692 | 99 | 68 |
| 693 | 100 | 69 |
| 694 | 102 | 72 |
| 695 | 101 | 69 |
| 696 | 100 | 69 |
| 697 | 102 | 71 |
| 698 | 102 | 71 |
| 699 | 102 | 69 |
| 700 | 102 | 71 |
| 701 | 102 | 68 |
| 702 | 100 | 69 |
| 703 | 102 | 70 |
| 704 | 102 | 68 |
| 705 | 102 | 70 |
| 706 | 102 | 72 |
| 707 | 102 | 68 |
| 708 | 102 | 69 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 709 | 100 | 68 |
| 710 | 102 | 71 |
| 711 | 101 | 64 |
| 712 | 102 | 69 |
| 713 | 102 | 69 |
| 714 | 101 | 69 |
| 715 | 102 | 64 |
| 716 | 102 | 69 |
| 717 | 102 | 68 |
| 718 | 102 | 70 |
| 719 | 102 | 69 |
| 720 | 102 | 70 |
| 721 | 102 | 70 |
| 722 | 102 | 62 |
| 723 | 104 | 38 |
| 724 | 104 | 15 |
| 725 | 102 | 24 |
| 726 | 102 | 45 |
| 727 | 102 | 47 |
| 728 | 104 | 40 |
| 729 | 101 | 52 |
| 730 | 103 | 32 |
| 731 | 102 | 50 |
| 732 | 103 | 30 |
| 733 | 103 | 44 |
| 734 | 102 | 40 |
| 735 | 103 | 43 |
| 736 | 103 | 41 |
| 737 | 102 | 46 |
| 738 | 103 | 39 |
| 739 | 102 | 41 |
| 740 | 103 | 41 |
| 741 | 102 | 38 |
| 742 | 103 | 39 |
| 743 | 102 | 46 |
| 744 | 104 | 46 |
| 745 | 103 | 49 |
| 746 | 102 | 45 |
| 747 | 103 | 42 |
| 748 | 103 | 46 |
| 749 | 103 | 38 |
| 750 | 102 | 48 |
| 751 | 103 | 35 |
| 752 | 102 | 48 |
| 753 | 103 | 49 |
| 754 | 102 | 48 |
| 755 | 102 | 46 |
| 756 | 103 | 47 |
| 757 | 102 | 49 |
| 758 | 102 | 42 |
| 759 | 102 | 52 |
| 760 | 102 | 57 |
| 761 | 102 | 55 |
| 762 | 102 | 61 |
| 763 | 102 | 61 |
| 764 | 102 | 58 |
| 765 | 103 | 58 |
| 766 | 102 | 59 |
| 767 | 102 | 54 |
| 768 | 102 | 63 |
| 769 | 102 | 61 |
| 770 | 103 | 55 |
| 771 | 102 | 60 |
| 772 | 102 | 72 |
| 773 | 103 | 56 |
| 774 | 102 | 55 |
| 775 | 102 | 67 |
| 776 | 103 | 56 |
| 777 | 84 | 42 |
| 778 | 48 | 7 |
| 779 | 48 | 6 |
| 780 | 48 | 6 |
| 781 | 48 | 7 |
| 782 | 48 | 6 |
| 783 | 48 | 7 |
| 784 | 67 | 21 |
| 785 | 105 | 59 |
| 786 | 105 | 96 |
| 787 | 105 | 74 |
| 788 | 105 | 66 |
| 789 | 105 | 62 |
| 790 | 105 | 66 |
| 791 | 89 | 41 |
| 792 | 52 | 5 |
| 793 | 48 | 5 |
| 794 | 48 | 7 |
| 795 | 48 | 5 |
| 796 | 48 | 6 |
| 797 | 48 | 4 |
| 798 | 52 | 6 |
| 799 | 51 | 5 |
| 800 | 51 | 6 |
| 801 | 51 | 6 |
| 802 | 52 | 5 |
| 803 | 52 | 5 |
| 804 | 57 | 44 |
| 805 | 98 | 90 |
| 806 | 105 | 94 |
| 807 | 105 | 100 |
| 808 | 105 | 98 |
| 809 | 105 | 95 |
| 810 | 105 | 96 |
| 811 | 105 | 92 |
| 812 | 104 | 97 |
| 813 | 100 | 85 |
| 814 | 94 | 74 |
| 815 | 87 | 62 |
| 816 | 81 | 50 |
| 817 | 81 | 46 |
| 818 | 80 | 39 |
| 819 | 80 | 32 |
| 820 | 81 | 28 |
| 821 | 80 | 26 |
| 822 | 80 | 23 |
| 823 | 80 | 23 |
| 824 | 80 | 20 |
| 825 | 81 | 19 |
| 826 | 80 | 18 |
| 827 | 81 | 17 |
| 828 | 80 | 20 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 829 | 81 | 24 |
| 830 | 81 | 21 |
| 831 | 80 | 26 |
| 832 | 80 | 24 |
| 833 | 80 | 23 |
| 834 | 80 | 22 |
| 835 | 81 | 21 |
| 836 | 81 | 24 |
| 837 | 81 | 24 |
| 838 | 81 | 22 |
| 839 | 81 | 22 |
| 840 | 81 | 21 |
| 841 | 81 | 31 |
| 842 | 81 | 27 |
| 843 | 80 | 26 |
| 844 | 80 | 26 |
| 845 | 81 | 25 |
| 846 | 80 | 21 |
| 847 | 81 | 20 |
| 848 | 83 | 21 |
| 849 | 83 | 15 |
| 850 | 83 | 12 |
| 851 | 83 | 9 |
| 852 | 83 | 8 |
| 853 | 83 | 7 |
| 854 | 83 | 6 |
| 855 | 83 | 6 |
| 856 | 83 | 6 |
| 857 | 83 | 6 |
| 858 | 83 | 6 |
| 859 | 76 | 5 |
| 860 | 49 | 8 |
| 861 | 51 | 7 |
| 862 | 51 | 20 |
| 863 | 78 | 52 |
| 864 | 80 | 38 |
| 865 | 81 | 33 |
| 866 | 83 | 29 |
| 867 | 83 | 22 |
| 868 | 83 | 16 |
| 869 | 83 | 12 |
| 870 | 83 | 9 |
| 871 | 83 | 8 |
| 872 | 83 | 7 |
| 873 | 83 | 6 |
| 874 | 83 | 6 |
| 875 | 83 | 6 |
| 876 | 83 | 6 |
| 877 | 83 | 6 |
| 878 | 59 | 4 |
| 879 | 50 | 5 |
| 880 | 51 | 5 |
| 881 | 51 | 5 |
| 882 | 51 | 5 |
| 883 | 50 | 5 |
| 884 | 50 | 5 |
| 885 | 50 | 5 |
| 886 | 50 | 5 |
| 887 | 50 | 5 |
| 888 | 51 | 5 |
| 889 | 51 | 5 |
| 890 | 51 | 5 |
| 891 | 63 | 50 |
| 892 | 81 | 34 |
| 893 | 81 | 25 |
| 894 | 81 | 29 |
| 895 | 81 | 23 |
| 896 | 80 | 24 |
| 897 | 81 | 24 |
| 898 | 81 | 28 |
| 899 | 81 | 27 |
| 900 | 81 | 22 |
| 901 | 81 | 19 |
| 902 | 81 | 17 |
| 903 | 81 | 17 |
| 904 | 81 | 17 |
| 905 | 81 | 15 |
| 906 | 80 | 15 |
| 907 | 80 | 28 |
| 908 | 81 | 22 |
| 909 | 81 | 24 |
| 910 | 81 | 19 |
| 911 | 81 | 21 |
| 912 | 81 | 20 |
| 913 | 83 | 26 |
| 914 | 80 | 63 |
| 915 | 80 | 59 |
| 916 | 83 | 100 |
| 917 | 81 | 73 |
| 918 | 83 | 53 |
| 919 | 80 | 76 |
| 920 | 81 | 61 |
| 921 | 80 | 50 |
| 922 | 81 | 37 |
| 923 | 82 | 49 |
| 924 | 83 | 37 |
| 925 | 83 | 25 |
| 926 | 83 | 17 |
| 927 | 83 | 13 |
| 928 | 83 | 10 |
| 929 | 83 | 8 |
| 930 | 83 | 7 |
| 931 | 83 | 7 |
| 932 | 83 | 6 |
| 933 | 83 | 6 |
| 934 | 83 | 6 |
| 935 | 71 | 5 |
| 936 | 49 | 24 |
| 937 | 69 | 64 |
| 938 | 81 | 50 |
| 939 | 81 | 43 |
| 940 | 81 | 42 |
| 941 | 81 | 31 |
| 942 | 81 | 30 |
| 943 | 81 | 35 |
| 944 | 81 | 28 |
| 945 | 81 | 27 |
| 946 | 80 | 27 |
| 947 | 81 | 31 |
| 948 | 81 | 41 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 949 | 81 | 41 |
| 950 | 81 | 37 |
| 951 | 81 | 43 |
| 952 | 81 | 34 |
| 953 | 81 | 31 |
| 954 | 81 | 26 |
| 955 | 81 | 23 |
| 956 | 81 | 27 |
| 957 | 81 | 38 |
| 958 | 81 | 40 |
| 959 | 81 | 39 |
| 960 | 81 | 27 |
| 961 | 81 | 33 |
| 962 | 80 | 28 |
| 963 | 81 | 34 |
| 964 | 83 | 72 |
| 965 | 81 | 49 |
| 966 | 81 | 51 |
| 967 | 80 | 55 |
| 968 | 81 | 48 |
| 969 | 81 | 36 |
| 970 | 81 | 39 |
| 971 | 81 | 38 |
| 972 | 80 | 41 |
| 973 | 81 | 30 |
| 974 | 81 | 23 |
| 975 | 81 | 19 |
| 976 | 81 | 25 |
| 977 | 81 | 29 |
| 978 | 83 | 47 |
| 979 | 81 | 90 |
| 980 | 81 | 75 |
| 981 | 80 | 60 |
| 982 | 81 | 48 |
| 983 | 81 | 41 |
| 984 | 81 | 30 |
| 985 | 80 | 24 |
| 986 | 81 | 20 |
| 987 | 81 | 21 |
| 988 | 81 | 29 |
| 989 | 81 | 29 |
| 990 | 81 | 27 |
| 991 | 81 | 23 |
| 992 | 81 | 25 |
| 993 | 81 | 26 |
| 994 | 81 | 22 |
| 995 | 81 | 20 |
| 996 | 81 | 17 |
| 997 | 81 | 23 |
| 998 | 83 | 65 |
| 999 | 81 | 54 |
| 1000 | 81 | 50 |
| 1001 | 81 | 41 |
| 1002 | 81 | 35 |
| 1003 | 81 | 37 |
| 1004 | 81 | 29 |
| 1005 | 81 | 28 |
| 1006 | 81 | 24 |
| 1007 | 81 | 19 |
| 1008 | 81 | 16 |
| 1009 | 80 | 16 |
| 1010 | 83 | 23 |
| 1011 | 83 | 17 |
| 1012 | 83 | 13 |
| 1013 | 83 | 27 |
| 1014 | 81 | 58 |
| 1015 | 81 | 60 |
| 1016 | 81 | 46 |
| 1017 | 80 | 41 |
| 1018 | 80 | 36 |
| 1019 | 81 | 26 |
| 1020 | 86 | 18 |
| 1021 | 82 | 35 |
| 1022 | 79 | 53 |
| 1023 | 82 | 30 |
| 1024 | 83 | 29 |
| 1025 | 83 | 32 |
| 1026 | 83 | 28 |
| 1027 | 76 | 60 |
| 1028 | 79 | 51 |
| 1029 | 86 | 26 |
| 1030 | 82 | 34 |
| 1031 | 84 | 25 |
| 1032 | 86 | 23 |
| 1033 | 85 | 22 |
| 1034 | 83 | 26 |
| 1035 | 83 | 25 |
| 1036 | 83 | 37 |
| 1037 | 84 | 14 |
| 1038 | 83 | 39 |
| 1039 | 76 | 70 |
| 1040 | 78 | 81 |
| 1041 | 75 | 71 |
| 1042 | 86 | 47 |
| 1043 | 83 | 35 |
| 1044 | 81 | 43 |
| 1045 | 81 | 41 |
| 1046 | 79 | 46 |
| 1047 | 80 | 44 |
| 1048 | 84 | 20 |
| 1049 | 79 | 31 |
| 1050 | 87 | 29 |
| 1051 | 82 | 49 |
| 1052 | 84 | 21 |
| 1053 | 82 | 56 |
| 1054 | 81 | 30 |
| 1055 | 85 | 21 |
| 1056 | 86 | 16 |
| 1057 | 79 | 52 |
| 1058 | 78 | 60 |
| 1059 | 74 | 55 |
| 1060 | 78 | 84 |
| 1061 | 80 | 54 |
| 1062 | 80 | 35 |
| 1063 | 82 | 24 |
| 1064 | 83 | 43 |
| 1065 | 79 | 49 |
| 1066 | 83 | 50 |
| 1067 | 86 | 12 |
| 1068 | 64 | 14 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 1069 | 24 | 14 |
| 1070 | 49 | 21 |
| 1071 | 77 | 48 |
| 1072 | 103 | 11 |
| 1073 | 98 | 48 |
| 1074 | 101 | 34 |
| 1075 | 99 | 39 |
| 1076 | 103 | 11 |
| 1077 | 103 | 19 |
| 1078 | 103 | 7 |
| 1079 | 103 | 13 |
| 1080 | 103 | 10 |
| 1081 | 102 | 13 |
| 1082 | 101 | 29 |
| 1083 | 102 | 25 |
| 1084 | 102 | 20 |
| 1085 | 96 | 60 |
| 1086 | 99 | 38 |
| 1087 | 102 | 24 |
| 1088 | 100 | 31 |
| 1089 | 100 | 28 |
| 1090 | 98 | 3 |
| 1091 | 102 | 26 |
| 1092 | 95 | 64 |
| 1093 | 102 | 23 |
| 1094 | 102 | 25 |
| 1095 | 98 | 42 |
| 1096 | 93 | 68 |
| 1097 | 101 | 25 |
| 1098 | 95 | 64 |
| 1099 | 101 | 35 |
| 1100 | 94 | 59 |
| 1101 | 97 | 37 |
| 1102 | 97 | 60 |
| 1103 | 93 | 98 |
| 1104 | 98 | 53 |
| 1105 | 103 | 13 |
| 1106 | 103 | 11 |
| 1107 | 103 | 11 |
| 1108 | 103 | 13 |

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 1109 | 103 | 10 |
| 1110 | 103 | 10 |
| 1111 | 103 | 11 |
| 1112 | 103 | 10 |
| 1113 | 103 | 10 |
| 1114 | 102 | 18 |
| 1115 | 102 | 31 |
| 1116 | 101 | 24 |
| 1117 | 102 | 19 |
| 1118 | 103 | 10 |
| 1119 | 102 | 12 |
| 1120 | 99 | 56 |
| 1121 | 96 | 59 |
| 1122 | 74 | 28 |
| 1123 | 66 | 62 |
| 1124 | 74 | 29 |
| 1125 | 64 | 74 |
| 1126 | 69 | 40 |
| 1127 | 76 | 2 |
| 1128 | 72 | 29 |
| 1129 | 66 | 65 |
| 1130 | 54 | 69 |
| 1131 | 69 | 56 |
| 1132 | 69 | 40 |
| 1133 | 73 | 54 |
| 1134 | 63 | 92 |
| 1135 | 61 | 67 |
| 1136 | 72 | 42 |
| 1137 | 78 | 2 |
| 1138 | 76 | 34 |
| 1139 | 67 | 80 |
| 1140 | 70 | 67 |
| 1141 | 53 | 70 |
| 1142 | 72 | 65 |
| 1143 | 60 | 57 |
| 1144 | 74 | 29 |
| 1145 | 69 | 31 |
| 1146 | 76 | 1 |
| 1147 | 74 | 22 |
| 1148 | 72 | 52 |

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 1149 | 62 | 96 |
| 1150 | 54 | 72 |
| 1151 | 72 | 28 |
| 1152 | 72 | 35 |
| 1153 | 64 | 68 |
| 1154 | 74 | 27 |
| 1155 | 76 | 14 |
| 1156 | 69 | 38 |
| 1157 | 66 | 59 |
| 1158 | 64 | 99 |
| 1159 | 51 | 86 |
| 1160 | 70 | 53 |
| 1161 | 72 | 36 |
| 1162 | 71 | 47 |
| 1163 | 70 | 42 |
| 1164 | 67 | 34 |
| 1165 | 74 | 2 |
| 1166 | 75 | 21 |
| 1167 | 74 | 15 |
| 1168 | 75 | 13 |
| 1169 | 76 | 10 |
| 1170 | 75 | 13 |
| 1171 | 75 | 10 |
| 1172 | 75 | 7 |
| 1173 | 75 | 13 |
| 1174 | 76 | 8 |
| 1175 | 76 | 7 |
| 1176 | 67 | 45 |
| 1177 | 75 | 13 |
| 1178 | 75 | 12 |
| 1179 | 73 | 21 |
| 1180 | 68 | 46 |
| 1181 | 74 | 8 |
| 1182 | 76 | 11 |
| 1183 | 76 | 14 |
| 1184 | 74 | 11 |
| 1185 | 74 | 18 |
| 1186 | 73 | 22 |
| 1187 | 74 | 20 |
| 1188 | 74 | 19 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 1189 | 70 | 22 |
| 1190 | 71 | 23 |
| 1191 | 73 | 19 |
| 1192 | 73 | 19 |
| 1193 | 72 | 20 |
| 1194 | 64 | 60 |
| 1195 | 70 | 39 |
| 1196 | 66 | 56 |
| 1197 | 68 | 64 |
| 1198 | 30 | 68 |
| 1199 | 70 | 38 |
| 1200 | 66 | 47 |
| 1201 | 76 | 14 |
| 1202 | 74 | 18 |
| 1203 | 69 | 46 |
| 1204 | 68 | 62 |
| 1205 | 68 | 62 |
| 1206 | 68 | 62 |
| 1207 | 68 | 62 |
| 1208 | 68 | 62 |
| 1209 | 68 | 62 |
| 1210 | 54 | 50 |
| 1211 | 41 | 37 |
| 1212 | 27 | 25 |
| 1213 | 14 | 12 |
| 1214 | 0 | 0 |
| 1215 | 0 | 0 |
| 1216 | 0 | 0 |
| 1217 | 0 | 0 |
| 1218 | 0 | 0 |
| 1219 | 0 | 0 |
| 1220 | 0 | 0 |
| 1221 | 0 | 0 |
| 1222 | 0 | 0 |
| 1223 | 0 | 0 |
| 1224 | 0 | 0 |
| 1225 | 0 | 0 |
| 1226 | 0 | 0 |
| 1227 | 0 | 0 |
| 1228 | 0 | 0 |
| 1229 | 0 | 0 |
| 1230 | 0 | 0 |
| 1231 | 0 | 0 |
| 1232 | 0 | 0 |
| 1233 | 0 | 0 |
| 1234 | 0 | 0 |
| 1235 | 0 | 0 |
| 1236 | 0 | 0 |
| 1237 | 0 | 0 |
| 1238 | 0 | 0 |

**LSI-NRTC-Ablaufplan für den Motorleistungprüfstand**

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 8 |
| 10 | 6 | 54 |
| 11 | 8 | 61 |
| 12 | 34 | 59 |
| 13 | 22 | 46 |
| 14 | 5 | 51 |
| 15 | 18 | 51 |
| 16 | 31 | 50 |
| 17 | 30 | 56 |
| 18 | 31 | 49 |
| 19 | 25 | 66 |
| 20 | 58 | 55 |
| 21 | 43 | 31 |
| 22 | 16 | 45 |
| 23 | 24 | 38 |
| 24 | 24 | 27 |
| 25 | 30 | 33 |
| 26 | 45 | 65 |
| 27 | 50 | 49 |
| 28 | 23 | 42 |
| 29 | 13 | 42 |
| 30 | 9 | 45 |
| 31 | 23 | 30 |
| 32 | 37 | 45 |
| 33 | 44 | 50 |
| 34 | 49 | 52 |
| 35 | 55 | 49 |
| 36 | 61 | 46 |
| 37 | 66 | 38 |
| 38 | 42 | 33 |
| 39 | 17 | 41 |
| 40 | 17 | 37 |
| 41 | 7 | 50 |
| 42 | 20 | 32 |
| 43 | 5 | 55 |
| 44 | 30 | 42 |
| 45 | 44 | 53 |
| 46 | 45 | 56 |
| 47 | 41 | 52 |
| 48 | 24 | 41 |
| 49 | 15 | 40 |
| 50 | 11 | 44 |
| 51 | 32 | 31 |
| 52 | 38 | 54 |
| 53 | 38 | 47 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 54 | 9 | 55 |
| 55 | 10 | 50 |
| 56 | 33 | 55 |
| 57 | 48 | 56 |
| 58 | 49 | 47 |
| 59 | 33 | 44 |
| 60 | 52 | 43 |
| 61 | 55 | 43 |
| 62 | 59 | 38 |
| 63 | 44 | 28 |
| 64 | 24 | 37 |
| 65 | 12 | 44 |
| 66 | 9 | 47 |
| 67 | 12 | 52 |
| 68 | 34 | 21 |
| 69 | 29 | 44 |
| 70 | 44 | 54 |
| 71 | 54 | 62 |
| 72 | 62 | 57 |
| 73 | 72 | 56 |
| 74 | 88 | 71 |
| 75 | 100 | 69 |
| 76 | 100 | 34 |
| 77 | 100 | 42 |
| 78 | 100 | 54 |
| 79 | 100 | 58 |
| 80 | 100 | 38 |
| 81 | 83 | 17 |
| 82 | 61 | 15 |
| 83 | 43 | 22 |
| 84 | 24 | 35 |
| 85 | 16 | 39 |
| 86 | 15 | 45 |
| 87 | 32 | 34 |
| 88 | 14 | 42 |
| 89 | 8 | 48 |
| 90 | 5 | 51 |
| 91 | 10 | 41 |
| 92 | 12 | 37 |
| 93 | 4 | 47 |
| 94 | 3 | 49 |
| 95 | 3 | 50 |
| 96 | 4 | 49 |
| 97 | 4 | 48 |
| 98 | 8 | 43 |
| 99 | 2 | 51 |
| 100 | 5 | 46 |
| 101 | 8 | 41 |
| 102 | 4 | 47 |
| 103 | 3 | 49 |
| 104 | 6 | 45 |
| 105 | 3 | 48 |
| 106 | 10 | 42 |
| 107 | 18 | 27 |
| 108 | 3 | 50 |
| 109 | 11 | 41 |
| 110 | 34 | 29 |
| 111 | 51 | 57 |
| 112 | 67 | 63 |
| 113 | 61 | 32 |
| 114 | 44 | 31 |
| 115 | 48 | 54 |
| 116 | 69 | 65 |
| 117 | 85 | 65 |
| 118 | 81 | 29 |
| 119 | 74 | 21 |
| 120 | 62 | 23 |
| 121 | 76 | 58 |
| 122 | 96 | 75 |
| 123 | 100 | 77 |
| 124 | 100 | 27 |
| 125 | 100 | 79 |
| 126 | 100 | 79 |
| 127 | 100 | 81 |
| 128 | 100 | 57 |
| 129 | 99 | 52 |
| 130 | 81 | 35 |
| 131 | 69 | 29 |
| 132 | 47 | 22 |
| 133 | 34 | 28 |
| 134 | 27 | 37 |
| 135 | 83 | 60 |
| 136 | 100 | 74 |
| 137 | 100 | 7 |
| 138 | 100 | 2 |
| 139 | 70 | 18 |
| 140 | 23 | 39 |
| 141 | 5 | 54 |
| 142 | 11 | 40 |
| 143 | 11 | 34 |
| 144 | 11 | 41 |
| 145 | 19 | 25 |
| 146 | 16 | 32 |
| 147 | 20 | 31 |
| 148 | 21 | 38 |
| 149 | 21 | 42 |
| 150 | 9 | 51 |
| 151 | 4 | 49 |
| 152 | 2 | 51 |
| 153 | 1 | 58 |
| 154 | 21 | 57 |
| 155 | 29 | 47 |
| 156 | 33 | 45 |
| 157 | 16 | 49 |
| 158 | 38 | 45 |
| 159 | 37 | 43 |
| 160 | 35 | 42 |
| 161 | 39 | 43 |
| 162 | 51 | 49 |
| 163 | 59 | 55 |
| 164 | 65 | 54 |
| 165 | 76 | 62 |
| 166 | 84 | 59 |
| 167 | 83 | 29 |
| 168 | 67 | 35 |
| 169 | 84 | 54 |
| 170 | 90 | 58 |
| 171 | 93 | 43 |
| 172 | 90 | 29 |
| 173 | 66 | 19 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 174 | 52 | 16 |
| 175 | 49 | 17 |
| 176 | 56 | 38 |
| 177 | 73 | 71 |
| 178 | 86 | 80 |
| 179 | 96 | 75 |
| 180 | 89 | 27 |
| 181 | 66 | 17 |
| 182 | 50 | 18 |
| 183 | 36 | 25 |
| 184 | 36 | 24 |
| 185 | 38 | 40 |
| 186 | 40 | 50 |
| 187 | 27 | 48 |
| 188 | 19 | 48 |
| 189 | 23 | 50 |
| 190 | 19 | 45 |
| 191 | 6 | 51 |
| 192 | 24 | 48 |
| 193 | 49 | 67 |
| 194 | 47 | 49 |
| 195 | 22 | 44 |
| 196 | 25 | 40 |
| 197 | 38 | 54 |
| 198 | 43 | 55 |
| 199 | 40 | 52 |
| 200 | 14 | 49 |
| 201 | 11 | 45 |
| 202 | 7 | 48 |
| 203 | 26 | 41 |
| 204 | 41 | 59 |
| 205 | 53 | 60 |
| 206 | 44 | 54 |
| 207 | 22 | 40 |
| 208 | 24 | 41 |
| 209 | 32 | 53 |
| 210 | 44 | 74 |
| 211 | 57 | 25 |
| 212 | 22 | 49 |
| 213 | 29 | 45 |
| 214 | 19 | 37 |
| 215 | 14 | 43 |
| 216 | 36 | 40 |
| 217 | 43 | 63 |
| 218 | 42 | 49 |
| 219 | 15 | 50 |
| 220 | 19 | 44 |
| 221 | 47 | 59 |
| 222 | 67 | 80 |
| 223 | 76 | 74 |
| 224 | 87 | 66 |
| 225 | 98 | 61 |
| 226 | 100 | 38 |
| 227 | 97 | 27 |
| 228 | 100 | 53 |
| 229 | 100 | 72 |
| 230 | 100 | 49 |
| 231 | 100 | 4 |
| 232 | 100 | 13 |
| 233 | 87 | 15 |
| 234 | 53 | 26 |
| 235 | 33 | 27 |
| 236 | 39 | 19 |
| 237 | 51 | 33 |
| 238 | 67 | 54 |
| 239 | 83 | 60 |
| 240 | 95 | 52 |
| 241 | 100 | 50 |
| 242 | 100 | 36 |
| 243 | 100 | 25 |
| 244 | 85 | 16 |
| 245 | 62 | 16 |
| 246 | 40 | 26 |
| 247 | 56 | 39 |
| 248 | 81 | 75 |
| 249 | 98 | 86 |
| 250 | 100 | 76 |
| 251 | 100 | 51 |
| 252 | 100 | 78 |
| 253 | 100 | 83 |
| 254 | 100 | 100 |
| 255 | 100 | 66 |
| 256 | 100 | 85 |
| 257 | 100 | 72 |
| 258 | 100 | 45 |
| 259 | 98 | 58 |
| 260 | 60 | 30 |
| 261 | 43 | 32 |
| 262 | 71 | 36 |
| 263 | 44 | 32 |
| 264 | 24 | 38 |
| 265 | 42 | 17 |
| 266 | 22 | 51 |
| 267 | 13 | 53 |
| 268 | 23 | 45 |
| 269 | 29 | 50 |
| 270 | 28 | 42 |
| 271 | 21 | 55 |
| 272 | 34 | 57 |
| 273 | 44 | 47 |
| 274 | 19 | 46 |
| 275 | 13 | 44 |
| 276 | 25 | 36 |
| 277 | 43 | 51 |
| 278 | 55 | 73 |
| 279 | 68 | 72 |
| 280 | 76 | 63 |
| 281 | 80 | 45 |
| 282 | 83 | 40 |
| 283 | 78 | 26 |
| 284 | 60 | 20 |
| 285 | 47 | 19 |
| 286 | 52 | 25 |
| 287 | 36 | 30 |
| 288 | 40 | 26 |
| 289 | 45 | 34 |
| 290 | 47 | 35 |
| 291 | 42 | 28 |
| 292 | 46 | 38 |
| 293 | 48 | 44 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 294 | 68 | 61 |
| 295 | 70 | 47 |
| 296 | 48 | 28 |
| 297 | 42 | 22 |
| 298 | 31 | 29 |
| 299 | 22 | 35 |
| 300 | 28 | 28 |
| 301 | 46 | 46 |
| 302 | 62 | 69 |
| 303 | 76 | 81 |
| 304 | 88 | 85 |
| 305 | 98 | 81 |
| 306 | 100 | 74 |
| 307 | 100 | 13 |
| 308 | 100 | 11 |
| 309 | 100 | 17 |
| 310 | 99 | 3 |
| 311 | 80 | 7 |
| 312 | 62 | 11 |
| 313 | 63 | 11 |
| 314 | 64 | 16 |
| 315 | 69 | 43 |
| 316 | 81 | 67 |
| 317 | 93 | 74 |
| 318 | 100 | 72 |
| 319 | 94 | 27 |
| 320 | 73 | 15 |
| 321 | 40 | 33 |
| 322 | 40 | 52 |
| 323 | 50 | 50 |
| 324 | 11 | 53 |
| 325 | 12 | 45 |
| 326 | 5 | 50 |
| 327 | 1 | 55 |
| 328 | 7 | 55 |
| 329 | 62 | 60 |
| 330 | 80 | 28 |
| 331 | 23 | 37 |
| 332 | 39 | 58 |
| 333 | 47 | 24 |
| 334 | 59 | 51 |
| 335 | 58 | 68 |
| 336 | 36 | 52 |
| 337 | 18 | 42 |
| 338 | 36 | 52 |
| 339 | 59 | 73 |
| 340 | 72 | 85 |
| 341 | 85 | 92 |
| 342 | 99 | 90 |
| 343 | 100 | 72 |
| 344 | 100 | 18 |
| 345 | 100 | 76 |
| 346 | 100 | 64 |
| 347 | 100 | 87 |
| 348 | 100 | 97 |
| 349 | 100 | 84 |
| 350 | 100 | 100 |
| 351 | 100 | 91 |
| 352 | 100 | 83 |
| 353 | 100 | 93 |
| 354 | 100 | 100 |
| 355 | 94 | 43 |
| 356 | 72 | 10 |
| 357 | 77 | 3 |
| 358 | 48 | 2 |
| 359 | 29 | 5 |
| 360 | 59 | 19 |
| 361 | 63 | 5 |
| 362 | 35 | 2 |
| 363 | 24 | 3 |
| 364 | 28 | 2 |
| 365 | 36 | 16 |
| 366 | 54 | 23 |
| 367 | 60 | 10 |
| 368 | 33 | 1 |
| 369 | 23 | 0 |
| 370 | 16 | 0 |
| 371 | 11 | 0 |
| 372 | 20 | 0 |
| 373 | 25 | 2 |
| 374 | 40 | 3 |
| 375 | 33 | 4 |
| 376 | 34 | 5 |
| 377 | 46 | 7 |
| 378 | 57 | 10 |
| 379 | 66 | 11 |
| 380 | 75 | 14 |
| 381 | 79 | 11 |
| 382 | 80 | 16 |
| 383 | 92 | 21 |
| 384 | 99 | 16 |
| 385 | 83 | 2 |
| 386 | 71 | 2 |
| 387 | 69 | 4 |
| 388 | 67 | 4 |
| 389 | 74 | 16 |
| 390 | 86 | 25 |
| 391 | 97 | 28 |
| 392 | 100 | 15 |
| 393 | 83 | 2 |
| 394 | 62 | 4 |
| 395 | 40 | 6 |
| 396 | 49 | 10 |
| 397 | 36 | 5 |
| 398 | 27 | 4 |
| 399 | 29 | 3 |
| 400 | 22 | 2 |
| 401 | 13 | 3 |
| 402 | 37 | 36 |
| 403 | 90 | 26 |
| 404 | 41 | 2 |
| 405 | 25 | 2 |
| 406 | 29 | 2 |
| 407 | 38 | 7 |
| 408 | 50 | 13 |
| 409 | 55 | 10 |
| 410 | 29 | 3 |
| 411 | 24 | 7 |
| 412 | 51 | 16 |
| 413 | 62 | 15 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 414 | 72 | 35 |
| 415 | 91 | 74 |
| 416 | 100 | 73 |
| 417 | 100 | 8 |
| 418 | 98 | 11 |
| 419 | 100 | 59 |
| 420 | 100 | 98 |
| 421 | 100 | 99 |
| 422 | 100 | 75 |
| 423 | 100 | 95 |
| 424 | 100 | 100 |
| 425 | 100 | 97 |
| 426 | 100 | 90 |
| 427 | 100 | 86 |
| 428 | 100 | 82 |
| 429 | 97 | 43 |
| 430 | 70 | 16 |
| 431 | 50 | 20 |
| 432 | 42 | 33 |
| 433 | 89 | 64 |
| 434 | 89 | 77 |
| 435 | 99 | 95 |
| 436 | 100 | 41 |
| 437 | 77 | 12 |
| 438 | 29 | 37 |
| 439 | 16 | 41 |
| 440 | 16 | 38 |
| 441 | 15 | 36 |
| 442 | 18 | 44 |
| 443 | 4 | 55 |
| 444 | 24 | 26 |
| 445 | 26 | 35 |
| 446 | 15 | 45 |
| 447 | 21 | 39 |
| 448 | 29 | 52 |
| 449 | 26 | 46 |
| 450 | 27 | 50 |
| 451 | 13 | 43 |
| 452 | 25 | 36 |
| 453 | 37 | 57 |
| 454 | 29 | 46 |
| 455 | 17 | 39 |
| 456 | 13 | 41 |
| 457 | 19 | 38 |
| 458 | 28 | 35 |
| 459 | 8 | 51 |
| 460 | 14 | 36 |
| 461 | 17 | 47 |
| 462 | 34 | 39 |
| 463 | 34 | 57 |
| 464 | 11 | 70 |
| 465 | 13 | 51 |
| 466 | 13 | 68 |
| 467 | 38 | 44 |
| 468 | 53 | 67 |
| 469 | 29 | 69 |
| 470 | 19 | 65 |
| 471 | 52 | 45 |
| 472 | 61 | 79 |
| 473 | 29 | 70 |
| 474 | 15 | 53 |
| 475 | 15 | 60 |
| 476 | 52 | 40 |
| 477 | 50 | 61 |
| 478 | 13 | 74 |
| 479 | 46 | 51 |
| 480 | 60 | 73 |
| 481 | 33 | 84 |
| 482 | 31 | 63 |
| 483 | 41 | 42 |
| 484 | 26 | 69 |
| 485 | 23 | 65 |
| 486 | 48 | 49 |
| 487 | 28 | 57 |
| 488 | 16 | 67 |
| 489 | 39 | 48 |
| 490 | 47 | 73 |
| 491 | 35 | 87 |
| 492 | 26 | 73 |
| 493 | 30 | 61 |
| 494 | 34 | 49 |
| 495 | 35 | 66 |
| 496 | 56 | 47 |
| 497 | 49 | 64 |
| 498 | 59 | 64 |
| 499 | 42 | 69 |
| 500 | 6 | 77 |
| 501 | 5 | 59 |
| 502 | 17 | 59 |
| 503 | 45 | 53 |
| 504 | 21 | 62 |
| 505 | 31 | 60 |
| 506 | 53 | 68 |
| 507 | 48 | 79 |
| 508 | 45 | 61 |
| 509 | 51 | 47 |
| 510 | 41 | 48 |
| 511 | 26 | 58 |
| 512 | 21 | 62 |
| 513 | 50 | 52 |
| 514 | 39 | 65 |
| 515 | 23 | 65 |
| 516 | 42 | 62 |
| 517 | 57 | 80 |
| 518 | 66 | 81 |
| 519 | 64 | 62 |
| 520 | 45 | 42 |
| 521 | 33 | 42 |
| 522 | 27 | 57 |
| 523 | 31 | 59 |
| 524 | 41 | 53 |
| 525 | 45 | 72 |
| 526 | 48 | 73 |
| 527 | 46 | 90 |
| 528 | 56 | 76 |
| 529 | 64 | 76 |
| 530 | 69 | 64 |
| 531 | 72 | 59 |
| 532 | 73 | 58 |
| 533 | 71 | 56 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 534 | 66 | 48 |
| 535 | 61 | 50 |
| 536 | 55 | 56 |
| 537 | 52 | 52 |
| 538 | 54 | 49 |
| 539 | 61 | 50 |
| 540 | 64 | 54 |
| 541 | 67 | 54 |
| 542 | 68 | 52 |
| 543 | 60 | 53 |
| 544 | 52 | 50 |
| 545 | 45 | 49 |
| 546 | 38 | 45 |
| 547 | 32 | 45 |
| 548 | 26 | 53 |
| 549 | 23 | 56 |
| 550 | 30 | 49 |
| 551 | 33 | 55 |
| 552 | 35 | 59 |
| 553 | 33 | 65 |
| 554 | 30 | 67 |
| 555 | 28 | 59 |
| 556 | 25 | 58 |
| 557 | 23 | 56 |
| 558 | 22 | 57 |
| 559 | 19 | 63 |
| 560 | 14 | 63 |
| 561 | 31 | 61 |
| 562 | 35 | 62 |
| 563 | 21 | 80 |
| 564 | 28 | 65 |
| 565 | 7 | 74 |
| 566 | 23 | 54 |
| 567 | 38 | 54 |
| 568 | 14 | 78 |
| 569 | 38 | 58 |
| 570 | 52 | 75 |
| 571 | 59 | 81 |
| 572 | 66 | 69 |
| 573 | 54 | 44 |
| 574 | 48 | 34 |
| 575 | 44 | 33 |
| 576 | 40 | 40 |
| 577 | 28 | 58 |
| 578 | 27 | 63 |
| 579 | 35 | 45 |
| 580 | 20 | 66 |
| 581 | 15 | 60 |
| 582 | 10 | 52 |
| 583 | 22 | 56 |
| 584 | 30 | 62 |
| 585 | 21 | 67 |
| 586 | 29 | 53 |
| 587 | 41 | 56 |
| 588 | 15 | 67 |
| 589 | 24 | 56 |
| 590 | 42 | 69 |
| 591 | 39 | 83 |
| 592 | 40 | 73 |
| 593 | 35 | 67 |
| 594 | 32 | 61 |
| 595 | 30 | 65 |
| 596 | 30 | 72 |
| 597 | 48 | 51 |
| 598 | 66 | 58 |
| 599 | 62 | 71 |
| 600 | 36 | 63 |
| 601 | 17 | 59 |
| 602 | 16 | 50 |
| 603 | 16 | 62 |
| 604 | 34 | 48 |
| 605 | 51 | 66 |
| 606 | 35 | 74 |
| 607 | 15 | 56 |
| 608 | 19 | 54 |
| 609 | 43 | 65 |
| 610 | 52 | 80 |
| 611 | 52 | 83 |
| 612 | 49 | 57 |
| 613 | 48 | 46 |
| 614 | 37 | 36 |
| 615 | 25 | 44 |
| 616 | 14 | 53 |
| 617 | 13 | 64 |
| 618 | 23 | 56 |
| 619 | 21 | 63 |
| 620 | 18 | 67 |
| 621 | 20 | 54 |
| 622 | 16 | 67 |
| 623 | 26 | 56 |
| 624 | 41 | 65 |
| 625 | 28 | 62 |
| 626 | 19 | 60 |
| 627 | 33 | 56 |
| 628 | 37 | 70 |
| 629 | 24 | 79 |
| 630 | 28 | 57 |
| 631 | 40 | 57 |
| 632 | 40 | 58 |
| 633 | 28 | 44 |
| 634 | 25 | 41 |
| 635 | 29 | 53 |
| 636 | 31 | 55 |
| 637 | 26 | 64 |
| 638 | 20 | 50 |
| 639 | 16 | 53 |
| 640 | 11 | 54 |
| 641 | 13 | 53 |
| 642 | 23 | 50 |
| 643 | 32 | 59 |
| 644 | 36 | 63 |
| 645 | 33 | 59 |
| 646 | 24 | 52 |
| 647 | 20 | 52 |
| 648 | 22 | 55 |
| 649 | 30 | 53 |
| 650 | 37 | 59 |
| 651 | 41 | 58 |
| 652 | 36 | 54 |
| 653 | 29 | 49 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 654 | 24 | 53 |
| 655 | 14 | 57 |
| 656 | 10 | 54 |
| 657 | 9 | 55 |
| 658 | 10 | 57 |
| 659 | 13 | 55 |
| 660 | 15 | 64 |
| 661 | 31 | 57 |
| 662 | 19 | 69 |
| 663 | 14 | 59 |
| 664 | 33 | 57 |
| 665 | 41 | 65 |
| 666 | 39 | 64 |
| 667 | 39 | 59 |
| 668 | 39 | 51 |
| 669 | 28 | 41 |
| 670 | 19 | 49 |
| 671 | 27 | 54 |
| 672 | 37 | 63 |
| 673 | 32 | 74 |
| 674 | 16 | 70 |
| 675 | 12 | 67 |
| 676 | 13 | 60 |
| 677 | 17 | 56 |
| 678 | 15 | 62 |
| 679 | 25 | 47 |
| 680 | 27 | 64 |
| 681 | 14 | 71 |
| 682 | 5 | 65 |
| 683 | 6 | 57 |
| 684 | 6 | 57 |
| 685 | 15 | 52 |
| 686 | 22 | 61 |
| 687 | 14 | 77 |
| 688 | 12 | 67 |
| 689 | 12 | 62 |
| 690 | 14 | 59 |
| 691 | 15 | 58 |
| 692 | 18 | 55 |
| 693 | 22 | 53 |
| 694 | 19 | 69 |
| 695 | 14 | 67 |
| 696 | 9 | 63 |
| 697 | 8 | 56 |
| 698 | 17 | 49 |
| 699 | 25 | 55 |
| 700 | 14 | 70 |
| 701 | 12 | 60 |
| 702 | 22 | 57 |
| 703 | 27 | 67 |
| 704 | 29 | 68 |
| 705 | 34 | 62 |
| 706 | 35 | 61 |
| 707 | 28 | 78 |
| 708 | 11 | 71 |
| 709 | 4 | 58 |
| 710 | 5 | 58 |
| 711 | 10 | 56 |
| 712 | 20 | 63 |
| 713 | 13 | 76 |
| 714 | 11 | 65 |
| 715 | 9 | 60 |
| 716 | 7 | 55 |
| 717 | 8 | 53 |
| 718 | 10 | 60 |
| 719 | 28 | 53 |
| 720 | 12 | 73 |
| 721 | 4 | 64 |
| 722 | 4 | 61 |
| 723 | 4 | 61 |
| 724 | 10 | 56 |
| 725 | 8 | 61 |
| 726 | 20 | 56 |
| 727 | 32 | 62 |
| 728 | 33 | 66 |
| 729 | 34 | 73 |
| 730 | 31 | 61 |
| 731 | 33 | 55 |
| 732 | 33 | 60 |
| 733 | 31 | 59 |
| 734 | 29 | 58 |
| 735 | 31 | 53 |
| 736 | 33 | 51 |
| 737 | 33 | 48 |
| 738 | 27 | 44 |
| 739 | 21 | 52 |
| 740 | 13 | 57 |
| 741 | 12 | 56 |
| 742 | 10 | 64 |
| 743 | 22 | 47 |
| 744 | 15 | 74 |
| 745 | 8 | 66 |
| 746 | 34 | 47 |
| 747 | 18 | 71 |
| 748 | 9 | 57 |
| 749 | 11 | 55 |
| 750 | 12 | 57 |
| 751 | 10 | 61 |
| 752 | 16 | 53 |
| 753 | 12 | 75 |
| 754 | 6 | 70 |
| 755 | 12 | 55 |
| 756 | 24 | 50 |
| 757 | 28 | 60 |
| 758 | 28 | 64 |
| 759 | 23 | 60 |
| 760 | 20 | 56 |
| 761 | 26 | 50 |
| 762 | 28 | 55 |
| 763 | 18 | 56 |
| 764 | 15 | 52 |
| 765 | 11 | 59 |
| 766 | 16 | 59 |
| 767 | 34 | 54 |
| 768 | 16 | 82 |
| 769 | 15 | 64 |
| 770 | 36 | 53 |
| 771 | 45 | 64 |
| 772 | 41 | 59 |
| 773 | 34 | 50 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 774 | 27 | 45 |
| 775 | 22 | 52 |
| 776 | 18 | 55 |
| 777 | 26 | 54 |
| 778 | 39 | 62 |
| 779 | 37 | 71 |
| 780 | 32 | 58 |
| 781 | 24 | 48 |
| 782 | 14 | 59 |
| 783 | 7 | 59 |
| 784 | 7 | 55 |
| 785 | 18 | 49 |
| 786 | 40 | 62 |
| 787 | 44 | 73 |
| 788 | 41 | 68 |
| 789 | 35 | 48 |
| 790 | 29 | 54 |
| 791 | 22 | 69 |
| 792 | 46 | 53 |
| 793 | 59 | 71 |
| 794 | 69 | 68 |
| 795 | 75 | 47 |
| 796 | 62 | 32 |
| 797 | 48 | 35 |
| 798 | 27 | 59 |
| 799 | 13 | 58 |
| 800 | 14 | 54 |
| 801 | 21 | 53 |
| 802 | 23 | 56 |
| 803 | 23 | 57 |
| 804 | 23 | 65 |
| 805 | 13 | 65 |
| 806 | 9 | 64 |
| 807 | 27 | 56 |
| 808 | 26 | 78 |
| 809 | 40 | 61 |
| 810 | 35 | 76 |
| 811 | 28 | 66 |
| 812 | 23 | 57 |
| 813 | 16 | 50 |
| 814 | 11 | 53 |
| 815 | 9 | 57 |
| 816 | 9 | 62 |
| 817 | 27 | 57 |
| 818 | 42 | 69 |
| 819 | 47 | 75 |
| 820 | 53 | 67 |
| 821 | 61 | 62 |
| 822 | 63 | 53 |
| 823 | 60 | 54 |
| 824 | 56 | 44 |
| 825 | 49 | 39 |
| 826 | 39 | 35 |
| 827 | 30 | 34 |
| 828 | 33 | 46 |
| 829 | 44 | 56 |
| 830 | 50 | 56 |
| 831 | 44 | 52 |
| 832 | 38 | 46 |
| 833 | 33 | 44 |
| 834 | 29 | 45 |
| 835 | 24 | 46 |
| 836 | 18 | 52 |
| 837 | 9 | 55 |
| 838 | 10 | 54 |
| 839 | 20 | 53 |
| 840 | 27 | 58 |
| 841 | 29 | 59 |
| 842 | 30 | 62 |
| 843 | 30 | 65 |
| 844 | 27 | 66 |
| 845 | 32 | 58 |
| 846 | 40 | 56 |
| 847 | 41 | 57 |
| 848 | 18 | 73 |
| 849 | 15 | 55 |
| 850 | 18 | 50 |
| 851 | 17 | 52 |
| 852 | 20 | 49 |
| 853 | 16 | 62 |
| 854 | 4 | 67 |
| 855 | 2 | 64 |
| 856 | 7 | 54 |
| 857 | 10 | 50 |
| 858 | 9 | 57 |
| 859 | 5 | 62 |
| 860 | 12 | 51 |
| 861 | 14 | 65 |
| 862 | 9 | 64 |
| 863 | 31 | 50 |
| 864 | 30 | 78 |
| 865 | 21 | 65 |
| 866 | 14 | 51 |
| 867 | 10 | 55 |
| 868 | 6 | 59 |
| 869 | 7 | 59 |
| 870 | 19 | 54 |
| 871 | 23 | 61 |
| 872 | 24 | 62 |
| 873 | 34 | 61 |
| 874 | 51 | 67 |
| 875 | 60 | 66 |
| 876 | 58 | 55 |
| 877 | 60 | 52 |
| 878 | 64 | 55 |
| 879 | 68 | 51 |
| 880 | 63 | 54 |
| 881 | 64 | 50 |
| 882 | 68 | 58 |
| 883 | 73 | 47 |
| 884 | 63 | 40 |
| 885 | 50 | 38 |
| 886 | 29 | 61 |
| 887 | 14 | 61 |
| 888 | 14 | 53 |
| 889 | 42 | 6 |
| 890 | 58 | 6 |
| 891 | 58 | 6 |
| 892 | 77 | 39 |
| 893 | 93 | 56 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 894 | 93 | 44 |
| 895 | 93 | 37 |
| 896 | 93 | 31 |
| 897 | 93 | 25 |
| 898 | 93 | 26 |
| 899 | 93 | 27 |
| 900 | 93 | 25 |
| 901 | 93 | 21 |
| 902 | 93 | 22 |
| 903 | 93 | 24 |
| 904 | 93 | 23 |
| 905 | 93 | 27 |
| 906 | 93 | 34 |
| 907 | 93 | 32 |
| 908 | 93 | 26 |
| 909 | 93 | 31 |
| 910 | 93 | 34 |
| 911 | 93 | 31 |
| 912 | 93 | 33 |
| 913 | 93 | 36 |
| 914 | 93 | 37 |
| 915 | 93 | 34 |
| 916 | 93 | 30 |
| 917 | 93 | 32 |
| 918 | 93 | 35 |
| 919 | 93 | 35 |
| 920 | 93 | 32 |
| 921 | 93 | 28 |
| 922 | 93 | 23 |
| 923 | 94 | 18 |
| 924 | 95 | 18 |
| 925 | 96 | 17 |
| 926 | 95 | 13 |
| 927 | 96 | 10 |
| 928 | 95 | 9 |
| 929 | 95 | 7 |
| 930 | 95 | 7 |
| 931 | 96 | 7 |
| 932 | 96 | 6 |
| 933 | 96 | 6 |
| 934 | 95 | 6 |
| 935 | 90 | 6 |
| 936 | 69 | 43 |
| 937 | 76 | 62 |
| 938 | 93 | 47 |
| 939 | 93 | 39 |
| 940 | 93 | 35 |
| 941 | 93 | 34 |
| 942 | 93 | 36 |
| 943 | 93 | 39 |
| 944 | 93 | 34 |
| 945 | 93 | 26 |
| 946 | 93 | 23 |
| 947 | 93 | 24 |
| 948 | 93 | 24 |
| 949 | 93 | 22 |
| 950 | 93 | 19 |
| 951 | 93 | 17 |
| 952 | 93 | 19 |
| 953 | 93 | 22 |
| 954 | 93 | 24 |
| 955 | 93 | 23 |
| 956 | 93 | 20 |
| 957 | 93 | 20 |
| 958 | 94 | 19 |
| 959 | 95 | 19 |
| 960 | 95 | 17 |
| 961 | 96 | 13 |
| 962 | 95 | 10 |
| 963 | 96 | 9 |
| 964 | 95 | 7 |
| 965 | 95 | 7 |
| 966 | 95 | 7 |
| 967 | 95 | 6 |
| 968 | 96 | 6 |
| 969 | 96 | 6 |
| 970 | 89 | 6 |
| 971 | 68 | 6 |
| 972 | 57 | 6 |
| 973 | 66 | 32 |
| 974 | 84 | 52 |
| 975 | 93 | 46 |
| 976 | 93 | 42 |
| 977 | 93 | 36 |
| 978 | 93 | 28 |
| 979 | 93 | 23 |
| 980 | 93 | 19 |
| 981 | 93 | 16 |
| 982 | 93 | 15 |
| 983 | 93 | 16 |
| 984 | 93 | 15 |
| 985 | 93 | 14 |
| 986 | 93 | 15 |
| 987 | 93 | 16 |
| 988 | 94 | 15 |
| 989 | 93 | 32 |
| 990 | 93 | 45 |
| 991 | 93 | 43 |
| 992 | 93 | 37 |
| 993 | 93 | 29 |
| 994 | 93 | 23 |
| 995 | 93 | 20 |
| 996 | 93 | 18 |
| 997 | 93 | 16 |
| 998 | 93 | 17 |
| 999 | 93 | 16 |
| 1000 | 93 | 15 |
| 1001 | 93 | 15 |
| 1002 | 93 | 15 |
| 1003 | 93 | 14 |
| 1004 | 93 | 15 |
| 1005 | 93 | 15 |
| 1006 | 93 | 14 |
| 1007 | 93 | 13 |
| 1008 | 93 | 14 |
| 1009 | 93 | 14 |
| 1010 | 93 | 15 |
| 1011 | 93 | 16 |
| 1012 | 93 | 17 |
| 1013 | 93 | 20 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 1014 | 93 | 22 |
| 1015 | 93 | 20 |
| 1016 | 93 | 19 |
| 1017 | 93 | 20 |
| 1018 | 93 | 19 |
| 1019 | 93 | 19 |
| 1020 | 93 | 20 |
| 1021 | 93 | 32 |
| 1022 | 93 | 37 |
| 1023 | 93 | 28 |
| 1024 | 93 | 26 |
| 1025 | 93 | 24 |
| 1026 | 93 | 22 |
| 1027 | 93 | 22 |
| 1028 | 93 | 21 |
| 1029 | 93 | 20 |
| 1030 | 93 | 20 |
| 1031 | 93 | 20 |
| 1032 | 93 | 20 |
| 1033 | 93 | 19 |
| 1034 | 93 | 18 |
| 1035 | 93 | 20 |
| 1036 | 93 | 20 |
| 1037 | 93 | 20 |
| 1038 | 93 | 20 |
| 1039 | 93 | 19 |
| 1040 | 93 | 18 |
| 1041 | 93 | 18 |
| 1042 | 93 | 17 |
| 1043 | 93 | 16 |
| 1044 | 93 | 16 |
| 1045 | 93 | 15 |
| 1046 | 93 | 16 |
| 1047 | 93 | 18 |
| 1048 | 93 | 37 |
| 1049 | 93 | 48 |
| 1050 | 93 | 38 |
| 1051 | 93 | 31 |
| 1052 | 93 | 26 |
| 1053 | 93 | 21 |
| 1054 | 93 | 18 |
| 1055 | 93 | 16 |
| 1056 | 93 | 17 |
| 1057 | 93 | 18 |
| 1058 | 93 | 19 |
| 1059 | 93 | 21 |
| 1060 | 93 | 20 |
| 1061 | 93 | 18 |
| 1062 | 93 | 17 |
| 1063 | 93 | 17 |
| 1064 | 93 | 18 |
| 1065 | 93 | 18 |
| 1066 | 93 | 18 |
| 1067 | 93 | 19 |
| 1068 | 93 | 18 |
| 1069 | 93 | 18 |
| 1070 | 93 | 20 |
| 1071 | 93 | 23 |
| 1072 | 93 | 25 |
| 1073 | 93 | 25 |
| 1074 | 93 | 24 |
| 1075 | 93 | 24 |
| 1076 | 93 | 22 |
| 1077 | 93 | 22 |
| 1078 | 93 | 22 |
| 1079 | 93 | 19 |
| 1080 | 93 | 16 |
| 1081 | 95 | 17 |
| 1082 | 95 | 37 |
| 1083 | 93 | 43 |
| 1084 | 93 | 32 |
| 1085 | 93 | 27 |
| 1086 | 93 | 26 |
| 1087 | 93 | 24 |
| 1088 | 93 | 22 |
| 1089 | 93 | 22 |
| 1090 | 93 | 22 |
| 1091 | 93 | 23 |
| 1092 | 93 | 22 |
| 1093 | 93 | 22 |
| 1094 | 93 | 23 |
| 1095 | 93 | 23 |
| 1096 | 93 | 23 |
| 1097 | 93 | 22 |
| 1098 | 93 | 23 |
| 1099 | 93 | 23 |
| 1100 | 93 | 23 |
| 1101 | 93 | 25 |
| 1102 | 93 | 27 |
| 1103 | 93 | 26 |
| 1104 | 93 | 25 |
| 1105 | 93 | 27 |
| 1106 | 93 | 27 |
| 1107 | 93 | 27 |
| 1108 | 93 | 24 |
| 1109 | 93 | 20 |
| 1110 | 93 | 18 |
| 1111 | 93 | 17 |
| 1112 | 93 | 17 |
| 1113 | 93 | 18 |
| 1114 | 93 | 18 |
| 1115 | 93 | 18 |
| 1116 | 93 | 19 |
| 1117 | 93 | 22 |
| 1118 | 93 | 22 |
| 1119 | 93 | 19 |
| 1120 | 93 | 17 |
| 1121 | 93 | 17 |
| 1122 | 93 | 18 |
| 1123 | 93 | 18 |
| 1124 | 93 | 19 |
| 1125 | 93 | 19 |
| 1126 | 93 | 20 |
| 1127 | 93 | 19 |
| 1128 | 93 | 20 |
| 1129 | 93 | 25 |
| 1130 | 93 | 30 |
| 1131 | 93 | 31 |
| 1132 | 93 | 26 |
| 1133 | 93 | 21 |

▼B

| Zeit (s) | Normierte Drehzahl (%) | Normiertes Drehmoment (%) |
|---|---|---|
| 1134 | 93 | 18 |
| 1135 | 93 | 20 |
| 1136 | 93 | 25 |
| 1137 | 93 | 24 |
| 1138 | 93 | 21 |
| 1139 | 93 | 21 |
| 1140 | 93 | 22 |
| 1141 | 93 | 22 |
| 1142 | 93 | 28 |
| 1143 | 93 | 29 |
| 1144 | 93 | 23 |
| 1145 | 93 | 21 |
| 1146 | 93 | 18 |
| 1147 | 93 | 16 |
| 1148 | 93 | 16 |
| 1149 | 93 | 16 |
| 1150 | 93 | 17 |
| 1151 | 93 | 17 |
| 1152 | 93 | 17 |
| 1153 | 93 | 17 |
| 1154 | 93 | 23 |
| 1155 | 93 | 26 |
| 1156 | 93 | 22 |
| 1157 | 93 | 18 |
| 1158 | 93 | 16 |
| 1159 | 93 | 16 |
| 1160 | 93 | 17 |
| 1161 | 93 | 19 |
| 1162 | 93 | 18 |
| 1163 | 93 | 16 |
| 1164 | 93 | 19 |
| 1165 | 93 | 22 |
| 1166 | 93 | 25 |
| 1167 | 93 | 29 |
| 1168 | 93 | 27 |
| 1169 | 93 | 22 |
| 1170 | 93 | 18 |
| 1171 | 93 | 16 |
| 1172 | 93 | 19 |
| 1173 | 93 | 19 |
| 1174 | 93 | 17 |
| 1175 | 93 | 17 |
| 1176 | 93 | 17 |
| 1177 | 93 | 16 |
| 1178 | 93 | 16 |
| 1179 | 93 | 15 |
| 1180 | 93 | 16 |
| 1181 | 93 | 15 |
| 1182 | 93 | 17 |
| 1183 | 93 | 21 |
| 1184 | 93 | 30 |
| 1185 | 93 | 53 |
| 1186 | 93 | 54 |
| 1187 | 93 | 38 |
| 1188 | 93 | 30 |
| 1189 | 93 | 24 |
| 1190 | 93 | 20 |
| 1191 | 95 | 20 |
| 1192 | 96 | 18 |
| 1193 | 96 | 15 |
| 1194 | 96 | 11 |
| 1195 | 95 | 9 |
| 1196 | 95 | 8 |
| 1197 | 96 | 7 |
| 1198 | 94 | 33 |
| 1199 | 93 | 46 |
| 1200 | 93 | 37 |
| 1201 | 16 | 8 |
| 1202 | 0 | 0 |
| 1203 | 0 | 0 |
| 1204 | 0 | 0 |
| 1205 | 0 | 0 |
| 1206 | 0 | 0 |
| 1207 | 0 | 0 |
| 1208 | 0 | 0 |
| 1209 | 0 | 0 |