



Rat der  
Europäischen Union

127706/EU XXV. GP  
Eingelangt am 22/12/16

Brüssel, den 21. Dezember 2016  
(OR. en)

15755/16  
ADD 3

ENT 238  
MI 809  
ENV 821  
DELACT 259

## ÜBERMITTLUNGSVERMERK

Absender:	Herr Jordi AYET PUIGARNAU, Direktor, im Auftrag des Generalsekretärs der Europäischen Kommission
Eingangsdatum:	19. Dezember 2016
Empfänger:	Herr Jeppe TRANHOLM-MIKKELSEN, Generalsekretär des Rates der Europäischen Union
Nr. Komm.dok.:	C(2016) 8381 final ANNEX 7
Betr.:	ANHÄNGE der Delegierten Verordnung (EU) .../... der Kommission 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

Die Delegationen erhalten in der Anlage das Dokument C(2016) 8381 final ANNEX 7.

Anl.: C(2016) 8381 final ANNEX 7

15755/16 ADD 3

/ab

DGG 3A

DE



EUROPÄISCHE  
KOMMISSION

Brüssel, den 19.12.2016  
C(2016) 8381 final

ANNEX 7

**ANHÄNGE**

**der**

**Delegierten Verordnung (EU) .../... der Kommission**

**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**

## **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 Partikelzählmessung sind, sofern sie gelten, in Anlage 5 festgelegt.

#### 1.1. Allgemeine Symbole

Abschnitt 2	Abschnitt 3	Einheit	Messgröße
	$A$	$\text{m}^2$	Fläche
	$A_t$	$\text{m}^2$	Querschnitt der Venturieinschnürung
$b, D_0$	$a_0$	n.f. <sup>3</sup>	$y$ -Achsabschnitt der Regressionsgeraden
$A/F_{\text{st}}$		-	stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis
	$C$	-	Koeffizient
$C_d$	$C_d$	-	Durchflusskoeffizient
	$C_f$	-	Durchsatzkoeffizient
$c$	$x$	ppm, Vol.-%	Konzentration/Molfraktion ( $\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$ )
$c_d$	<sup>1</sup>	ppm, Vol.-%	Konzentration im trockenen Bezugszustand
$c_w$	<sup>1</sup>	ppm, Vol.-%	Konzentration im feuchten Bezugszustand
$c_b$	<sup>1</sup>	ppm, Vol.-%	Hintergrundkonzentration
$D$	$x_{\text{dil}}$	-	Verdünnungsfaktor <sup>2</sup>
$D_0$		$\text{m}^3/\text{rev}$	Achsabschnitt der PDP-Kalibrierfunktion
$d$	$d$	m	Durchmesser
$d_v$		m	Innendurchmesser an der Einschnürung des Venturirohrs
$e$	$e$	g/kWh	bremsspezifische Basis
$e_{\text{gas}}$	$e_{\text{gas}}$	g/kWh	spezifische Emission gasförmiger Bestandteile

<i>Abschnitt 2</i>	<i>Abschnitt 3</i>	<i>Einheit</i>	<i>Messgröße</i>
$e_{\text{PM}}$	$e_{\text{PM}}$	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
$K_V$		$[(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s) / k]$	CFV-Kalibrierfunktion
$k_f$		$m^3/kg$ Kraftstoff	kraftstoffspezifischer Faktor
$k_h$		-	Feuchtigkeitskorrekturfaktor für NO <sub>x</sub> , Dieselmotoren
$k_{\text{Dr}}$	$k_{\text{Dr}}$	-	abwärtswirksamer Anpassungsfaktor
$k_r$	$k_r$	-	multiplikativer Regenerierungsfaktor
$k_{\text{Ur}}$	$k_{\text{Ur}}$	-	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 <sup>3</sup>
$M_a$	<sup>1</sup>	g/mol	Molmasse der Ansaugluft
$M_e$	<sup>v</sup>	g/mol	Molmasse des Abgases
$M_{\text{gas}}$	$M_{\text{gas}}$	g/mol	Molmasse der gasförmigen Bestandteile
$m$	$m$	kg	Masse

<i>Abschnitt 2</i>	<i>Abschnitt 3</i>	<i>Einheit</i>	<i>Messgröße</i>
$m$	$a_1$	n.f. <sup>3</sup>	Steigung der Regressionsgeraden
	$\nu$	$\text{m}^2/\text{s}$	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
$m_{\text{gas}}$	$m_{\text{gas}}$	g	Masse der gasförmigen Emissionen über einen Prüfzyklus
$m_{\text{PM}}$	$m_{\text{PM}}$	g	Masse der Partikelemissionen über einen Prüfzyklus
$m_{se}$	1	kg	Masse der Abgasproben über einen Prüfzyklus
$m_{\text{sed}}$	1	kg	Masse des verdünnten Abgases, das den Verdünnungstunnel durchströmt
$m_{\text{sep}}$	1	kg	Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt
$m_{\text{ssd}}$		kg	Masse der Sekundärverdünnungsluft
	N	-	Gesamtanzahl einer Reihe
	$n$	mol	Stoffmenge
	$\dot{n}$	mol/s	Stoffdurchsatz
$n$	$f_n$	$\text{min}^{-1}$	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

<i>Abschnitt 2</i>	<i>Abschnitt 3</i>	<i>Einheit</i>	<i>Messgröße</i>
$p_p$	$p_{abs}$	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
$q_{Vs}$	$^1$	$dm^3/min$	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 <sup>2</sup>
	$Ra$	$\mu m$	Durchschnittliche Rauheit der Oberfläche
$RH$		%	relative Feuchtigkeit

Abschnitt 2	Abschnitt 3	Einheit	Messgröße
$r_D$	$\beta$	m/m	Durchmesserverhältnis (CVS-Systeme)
$r_p$		-	Druckverhältnis des SSV
$Re$	$Re^{\#}$	-	Reynolds-Zahl
	$S$	K	Sutherland-Konstante
$\sigma$	$\sigma$	-	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

<sup>1</sup> Siehe tiefgestellte Indizes, z. B.:  $\dot{m}_{air}$  für Trockenluft-Massendurchsatz,  $\dot{m}_{fuel}$  für Kraftstoff-Massendurchsatz usw.

<sup>2</sup> 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 A.7-47 7-124 bildet die Beziehung zwischen  $x_{dil}$  und  $DR$  ab.

<sup>3</sup> n.f. = noch festzulegen.

## 1.2. Tiefgestellte Indizes

Abschnitt 2 <sup>1</sup>	Abschnitt 3	Messgröße
act	act	tatsächliche Größe
<i>i</i>		momentanes Messergebnis (z. B. 1 Hz)
	<i>i</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 <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	Methan
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Ethan
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propan
CO	CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
	H	atomarer Wasserstoff
	H <sub>2</sub>	molekularer Wasserstoff
HC	HC	Kohlenwasserstoff
H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Wasser
	He	Helium
	N	atomarer Stickstoff
	N <sub>2</sub>	molekularer Stickstoff
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Stickoxide
NO	NO	Stickstoffmonoxid

NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
	O	atomarer Sauerstoff
PM	PM	Partikel
S	S	Schwefel

#### 1.4. Symbole und Abkürzungen für die Kraftstoffzusammensetzung

Abschnitt 2 <sup>1</sup>	Abschnitt 3 <sup>2</sup>	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) <sup>3</sup>
$\gamma$	$\gamma$	Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis (S/C)
$\delta$	$\delta$	Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (N/C)

<sup>1</sup> Bezogen auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel CH <sub>$\alpha$</sub> O <sub>$\beta$</sub> N <sub>$\delta$</sub> S <sub>$\gamma$</sub> .

<sup>2</sup> Bezogen auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel CH $\alpha$ O $\beta$ S $\gamma$ N $\delta$ .

<sup>3</sup> Besonderes Augenmerk ist auf die unterschiedlichen Bedeutungen des Symbols  $\beta$  in den beiden Abschnitten zur Emissionsberechnung zu legen: In Abschnitt 2 ist damit ein Kraftstoff mit der chemische Formel CH <sub>$\alpha$</sub> S <sub>$\gamma$</sub> N <sub>$\delta$</sub> O <sub>$\epsilon$</sub>  (d. h. der Formel C <sub>$\beta$</sub> H <sub>$\alpha$</sub> S <sub>$\gamma$</sub> N <sub>$\delta$</sub> O <sub>$\epsilon$</sub>  wobei  $\beta = 1$ , wenn von einem Kohlenstoffatom pro Molekül ausgegangen wird) gemeint, in Abschnitt 3 bei CH <sub>$\alpha$</sub> O <sub>$\beta$</sub> S <sub>$\gamma$</sub> N <sub>$\delta$</sub>  hingegen das Sauerstoff-Kohlenstoff-Verhältnis. Unter diesen Umständen entspricht  $\beta$  in Abschnitt 3  $\varepsilon$  in Abschnitt 2.

<sup>4</sup> 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.

$$q_{mgas,i} = k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot q_{mew,i} \cdot c_{\text{gas},i} \cdot 3600 \quad (7-1)$$

Dabei gilt:

$k$  = 1 für  $c_{\text{gasr},w,i}$  in [ppm] und  $k = 10\,000$  für  $c_{\text{gasr},w,i}$  in [Vol.-%]

$k_h$  = NO<sub>x</sub>-Korrekturfaktor [-], für die NO<sub>x</sub>-Emissionsberechnung (siehe Nummer 2.1.4)

$u_{\text{gas}}$  = 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]

$c_{\text{gas},i}$  = Emissionskonzentration im Rohabgas in der Prüfphase  $i$ , feucht [ppm] oder [Vol.-%]

## 2.1.2. Dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC-Prüfungen

Die Gesamtmasse einer gasförmigen Emission  $m_{\text{gas}}$  [g/test] je Prüfung ist durch Multiplikation der zeitlich angegliederten momentanen Konzentrationen und mit den Abgasdurchsätzen und durch Integration über den Prüfzyklus mithilfe von Gleichung 7-2 zu berechnen:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N (q_{mew,i} \cdot c_{\text{gas},i}) \quad (7-2)$$

Dabei gilt:

$f$  = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

$k_h$  = NO<sub>x</sub>-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO<sub>x</sub>-Emissionsberechnung

$k$  = 1 für  $c_{\text{gasr},w,i}$  in [ppm] und  $k = 10\,000$  für  $c_{\text{gasr},w,i}$  in [Vol.-%]

$u_{\text{gas}}$  = abgasbestandteilspezifischer Faktor [-] (siehe Nummer 2.1.5)

$N$  = Zahl der Messungen [-]

$q_{mew,i}$  = momentaner Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

$c_{\text{gas},i}$  = 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:

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (7-3)$$

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:

$$k_{w,a} = \frac{\left( 1 - \frac{1.2442 \cdot H_a + 111.19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773.4 + 1.2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1000} \right)}{\left( 1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} \quad (7-4)$$

Dabei gilt:

$H_a$  = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H<sub>2</sub>O/kg trockener Luft]

$q_{mf,i}$  = momentaner Kraftstoffdurchsatz [kg/s]

$q_{mad,i}$  = momentaner Durchsatz der Ansaugluft [kg/s]

$p_r$  = Wasserdruk nach dem Kühler [kPa]

$p_b$  = barometrischer Gesamtdruck [kPa]

$w_H$  = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

$k_f$  = zusätzliches Verbrennungsvolumen [m<sup>3</sup>/kg Kraftstoff]

Dabei gilt:

$$k_f = 0.055594 \cdot w_H + 0.0080021 \cdot w_N + 0.0070046 \cdot w_O \quad (7-5)$$

Wobei:

$$\begin{aligned} w_H &= \text{Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]} \\ w_N &= \text{Stickstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]} \\ w_O &= \text{Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]} \end{aligned}$$

In der Gleichung 7-4 kann folgendes Verhältnis  $p_r/p_b$  angenommen werden:

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} = 1.008 \quad (7-6)$$

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:

$$k_{w,a} = \frac{\frac{1}{1 + \alpha \cdot 0.005 \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{w1}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \quad (7-7)$$

Dabei gilt:

$$\begin{aligned} c_{CO_2} &= CO_2\text{-Konzentration im Rohabgas, trocken [Vol.-%]} \\ c_{CO} &= CO\text{-Konzentration im Rohabgas, trocken [ppm]} \\ p_r &= Wasserdruk nach dem Kühler [kPa] \\ p_b &= barometrischer Gesamtdruck [kPa] \\ \alpha &= Kohlenstoff-Wasserstoff-Molverhältnis [-] \\ k_{w1} &= Feuchtigkeit der Ansaugluft [-] \end{aligned}$$

$$k_{w1} = \frac{1.608 \cdot H_a}{1000 + 1.608 \cdot H_a} \quad (7-8)$$

#### 2.1.4. Korrektur der NO<sub>x</sub>-Konzentration unter Berücksichtigung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Da die NO<sub>x</sub>-Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängt, ist die NO<sub>x</sub>-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<sub>2</sub>O/kg trockener Luft.

a) für Selbstzündungsmotoren

$$k_{h,D} = \frac{15.698 \times H_a}{1,000} + 0.832 \quad (7-9)$$

b) für Fremdzündungsmotoren

$$k_{h,G} = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \quad (7-10)$$

Dabei gilt:

$H_a$  = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H<sub>2</sub>O/kg trockener Luft]

#### 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  $u_{\text{gas}}$  in Tabelle 7.1 angegeben.

Tabelle 7.1

#### u-Werte für das Rohabgas und Dichte der Abgasbestandteile (für die in ppm ausgedrückte Emissionskonzentration)

Kraftstoff	$\rho_e$	Gas					
		NO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
		$\rho_{\text{gas}} [\text{kg/m}^3]$					
		2,053	1,250	<sup>a</sup>	1,9636	1,4277	0,716
		$u_{\text{gas}}^b$					

Diesel (nicht für den Straßenve rkehr bestimmte r Dieselkraf tstoff)	1,2943	0,001586	0,000966	0,000482	0,001517	0,001103	0,000553
Ethanol für bestimmte Selbstzün dungsmot oren (ED95)	1,2768	0,001609	0,000980	0,000780	0,001539	0,001119	0,000561
Erdgas/ Biometha n <sup>c</sup>	1,2661	0,001621	0,000987	0,000528 <sup>d</sup>	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 <sup>e</sup>	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

<sup>a</sup> kraftstoffabhängig.  
<sup>b</sup> bei  $\lambda = 2$ , trockener Luft, 273 K und 101,3 kPa.  
<sup>c</sup>  $u$ -Werte  $\pm 0,2\%$  für folgende Massenverteilung: C = 66 – 76 %; H = 22 – 25 %; N = 0 – 12 %.  
<sup>d</sup> NMHC auf der Grundlage von CH<sub>2,93</sub> (für Gesamt-HC ist der  $u_{\text{gas}}$ -Faktor für CH<sub>4</sub> zu verwenden).  
<sup>e</sup>  $u$ -Werte  $\pm 0,2\%$  für folgende Massenverteilung: C3 = 70 – 90 %; C4 = 10 – 30 %.

### 2.1.5.2. Berechnete Werte

Der abgasbestandteilspezifische Faktor  $u_{\text{gas},i}$  kann anhand des Verhältnisses zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und des Abgases oder alternativ durch das entsprechende Verhältnis der Molmassen (Gleichungen 7-11 oder 7-12) ermittelt werden:

$$u_{\text{gas},i} = M_{\text{gas}} / (M_{\text{e},i} \cdot 1000) \quad (7-11)$$

oder

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{\text{e},i} \cdot 1000) \quad (7-12)$$

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<sup>3</sup>]

$\rho_{\text{e},i}$  = momentane Dichte des feuchten Rohabgases [kg/m<sup>3</sup>]

Die Molmasse des Abgases  $M_{\text{e},i}$  ist für die allgemeine Kraftstoffzusammensetzung CH<sub>α</sub>O<sub>ε</sub>N<sub>δ</sub>S<sub>γ</sub> unter der Annahme vollständiger Verbrennung mithilfe von Gleichung 7-13 zu berechnen:

$$M_{\text{e},i} = \frac{q_{\text{mf},i}}{1 + \frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}} \cdot \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12.001 + 1.00794 \cdot \alpha + 15.9994 \cdot \varepsilon + 14.0067 \cdot \delta + 32.0065 \cdot \gamma} + \frac{H_a \cdot 10^{-3}}{2 \times 1.00794 + 15.9994} + \frac{1}{1 + H_a \cdot 10^{-3}}} \quad (7-13)$$

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 [-]  
 $H_a$  = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H<sub>2</sub>O/kg trockener Luft]  
 $M_a$  = Molekularmasse der trockenen Ansaugluft = 28,965 g/mol

Die momentane Dichte des Rohabgases  $\rho_{e,i}$  [kg/m<sup>3</sup>] ist mithilfe von Gleichung 7-14 zu berechnen:

$$\rho_{e,i} = \frac{1000 + H_a + 1000 \cdot (q_{mf,i}/q_{mad,i})}{773,4 + 1.2434 \cdot H_a + k_f \cdot 1000 \cdot (q_{mf,i}/q_{mad,i})} \quad (7-14)$$

Dabei gilt:

- $q_{mf,i}$  = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]  
 $q_{mad,i}$  = momentaner Massendurchsatz der trockenen Ansaugluft [kg/s]  
 $H_a$  = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H<sub>2</sub>O/kg trockener Luft]  
 $k_f$  = zusätzliches Verbrennungsvolumen [m<sup>3</sup>/kg Kraftstoff] (siehe Gleichung 7-5)

## 2.1.6. Massendurchsatz des Rohabgases

### 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.

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (7-15)$$

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.

$$q_{mew,i} = \frac{q_{Vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot (c_{mix,i} - c_b)} \quad (7-16)$$

Dabei gilt:

- $q_{Vt}$  = Durchsatz des Spürgases [m<sup>3</sup>/s]
- $c_{mix,i}$  = momentane Konzentration des Spürgases nach der Vermischung [ppm]
- $\rho_e$  = Dichte des Rohabgases [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_b$  = 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.

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left( 1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i} \right) \quad (7-17)$$

Dabei gilt:

$$A/F_{st} = \frac{138.0 \cdot \left( 1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right)}{12.011 + 1.00794 \cdot \alpha + 15.9994 \cdot \varepsilon + 14.0067 \cdot \delta + 32.065 \cdot \gamma} \quad (7-18)$$

$$\lambda_i = \frac{\left( 100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4} \right) + \left( \frac{\alpha}{4} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3.5 \cdot c_{CO2d}}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3.5 \cdot c_{CO2d}}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2} \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4.764 \cdot \left( 1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})} \quad (7-19)$$

Dabei gilt:

$q_{maw,i}$	=	Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht [kg/s]
$A/F_{st}$	=	stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis [-]
$\lambda_i$	=	momentaner Luftüberschussfaktor [-]
$c_{COd}$	=	CO-Konzentration im Rohabgas, trocken [ppm]
$c_{CO2d}$	=	CO <sub>2</sub> -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:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left[ \frac{1.4 \cdot w_C^2}{(1.0828 \cdot w_C + k_{fd} \cdot f_c) f_c} \left( 1 + \frac{H_a}{1000} \right) + 1 \right] \quad (7-20)$$

wobei der Kohlenstofffaktor  $f_c$  [-] mithilfe der nachstehenden Gleichung ermittelt wird:

$$f_c = 0.5441 \cdot (c_{CO2d} - c_{CO2d,a}) + \frac{c_{COd}}{18522} + \frac{c_{HCw}}{17355} \quad (7-21)$$

Dabei gilt:

$q_{mf,i}$	=	momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]
$w_C$	=	Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]
$H_a$	=	Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H <sub>2</sub> O/kg trockener Luft]
$k_{fd}$	=	zusätzliches Verbrennungsvolumen, trocken [m <sup>3</sup> /kg Kraftstoff]
$c_{CO2d}$	=	Konzentration des trockenen CO <sub>2</sub> im Rohabgas [%]

$c_{CO2d,a}$  = Konzentration des trockenen CO<sub>2</sub> 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:

$$k_{fd} = k_f - 0.11118 \cdot w_H \quad (7-22)$$

Dabei gilt:

$k_f$  = kraftstoffspezifischer Faktor für Gleichung 7-5 [ $m^3/kg$  Kraftstoff]

$w_H$  = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

## 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:

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot m_{ed} \quad (7-23)$$

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<sub>x</sub>-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO<sub>x</sub>-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  $m_{\text{gas}}$  [g/test] durch Berechnung der momentanen Massenemissionen sowie Integration und Hintergrundkorrektur mithilfe von Gleichung 7-24 zu bestimmen:

$$m_{\text{gas}} = k_h \cdot k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N \left[ \left( m_{\text{ed},i} \cdot c_e \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] - \left[ \left( m_{\text{ed}} \cdot c_d \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] \right\} \quad (7-24)$$

Dabei gilt:

- $c_e$  = Emissionskonzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm] oder [Vol.-%]
- $c_d$  = Emissionskonzentration in der Verdünnungsluft, feucht [ppm] oder [Vol.-%]
- $m_{\text{ed},i}$  = Masse des verdünnten Abgases während des Zeitintervalls  $i$  [kg]
- $m_{\text{ed}}$  = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg]
- $u_{\text{gas}}$  = Wert aus Tabelle 7.2 [-]
- $D$  = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]
- $k_h$  = NO<sub>x</sub>-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO<sub>x</sub>-Emissionsberechnung
- $k$  = 1 für  $c$  in [ppm],  $k = 10\,000$  für  $c$  in [Vol.-%]

Die Werte für die Konzentrationen  $c_{\text{gas}}$ ,  $c_e$  und  $c_d$  können entweder in einer Stichprobe gemessen werden (in einem Beutel; nicht zulässig für NO<sub>x</sub> und HC) oder durch Integration aus kontinuierlichen Messungen als Durchschnittswert ermittelt werden. Auch  $m_{\text{ed},i}$  muss durch Integration über den Prüfzyklus als Durchschnittswert ermittelt werden.

Die nachstehenden Gleichungen zeigen, wie die benötigten Größen ( $c_e$ ,  $u_{\text{gas}}$  und  $m_{\text{ed}}$ ) zu berechnen sind.

## 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:

$$k_{w,e} = \left[ \left( 1 - \frac{\alpha \cdot c_{CO2w}}{200} \right) - k_{w2} \right] \cdot 1.008 \quad (7-25)$$

oder

$$k_{w,e} = \left( \frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{\alpha \cdot c_{CO2d}}{200}} \right) \cdot 1.008 \quad (7-26)$$

Dabei gilt:

$\alpha$  = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis des Kraftstoffs [-]

$c_{CO2w}$  = CO<sub>2</sub>-Konzentration im verdünnten Abgas, feucht  
[Volumenprozent]

$c_{CO2d}$  = CO<sub>2</sub>-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:

$$k_{w2} = \frac{1.608 \cdot \left[ H_d \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left( \frac{1}{D} \right) \right]}{1000 + \left\{ 1.608 \cdot \left[ H_d \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left( \frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (7-27)$$

Dabei gilt:

$H_a$  = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H<sub>2</sub>O/kg trockener Luft]

$H_d$  = Feuchtigkeit der Verdünnungsluft [g H<sub>2</sub>O/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:

$$D = \frac{F_s}{c_{CO2,e} + (c_{HC,e} + c_{CO,e}) \cdot 10^{-4}} \quad (7-28)$$

Dabei gilt:

$F_S$  = stöchiometrischer Faktor [-]

$c_{CO_2,e}$  = CO<sub>2</sub>-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]

Der stöchiometrische Faktor ist mithilfe von Gleichung 7-29 zu berechnen:

$$F_S = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3.76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (7-29)$$

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 Abgassatzes durchgeführt, kann der Verdünnungsfaktor  $D$  [-] mithilfe von Gleichung 7-30 berechnet werden:

$$D = \frac{q_{VCVS}}{q_{Vew}} \quad (7-30)$$

Dabei gilt:

$q_{VCVS}$  ist der Volumendurchsatz des verdünnten Abgases [ $m^3/s$ ]

$q_{Vew}$  = Volumendurchsatz des Rohabgases [ $m^3/s$ ]

### 2.2.2.3. Verdünnungsluft

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1.008 \quad (7-31)$$

Dabei ist:

$$k_{w3} = \frac{1.608 \cdot H_d}{1000 + 1.608 \cdot H_d} \quad (7-32)$$

Dabei gilt:

$H_d$  = Feuchtigkeit der Verdünnungsluft [g H<sub>2</sub>O/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:

$$c_{\text{gas}} = c_{\text{gas,e}} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \quad (7-33)$$

Dabei gilt:

$c_{\text{gas}}$  = Nettokonzentration des gasförmigen Schadstoffs [ppm] oder [Vol.-%]

$c_{\text{gas,e}}$  = 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) [-]

#### 2.2.3. Abgasbestandteilspezifischer Faktor u

Der abgasbestandteilspezifische Faktor  $u_{\text{gas}}$  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.

$$u = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{d,w} \cdot 1000} = \frac{M_{\text{gas}}}{\left[ M_{d,a,w} \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + M_{r,w} \cdot \left(\frac{1}{D}\right) \right] \cdot 1000} \quad (7-34)$$

Dabei gilt:

- $M_{\text{gas}}$  = Molmasse des Abgasbestandteils [g/mol]
- $M_{\text{d,w}}$  = Molmasse des verdünnten Abgases [g/mol]
- $M_{\text{da,w}}$  = Molmasse der Verdünnungsluft [g/mol]
- $M_{\text{r,w}}$  = Molmasse des Rohabgases [g/mol]
- $D$  = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 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					
		$NO_x$	$CO$	$HC$	$CO_2$	$O_2$	$CH_4$
		$\rho_{\text{gas}} [\text{kg/m}^3]$					
		2,053	1,250	<sup>a</sup>	1,9636	1,4277	0,716
		$u_{\text{gas}}^b$					
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 <sup>c</sup>	1,2661	0,001621	0,000987	0,000528 <sup>d</sup>	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 <sup>e</sup>	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	1,2797	0,001604	0,000977	0,000730	0,001534	0,001116	0,000559

(E85)							
<sup>a</sup>	kraftstoffabhängig.						
<sup>b</sup>	bei $\lambda = 2$ , trockener Luft, 273 K und 101,3 kPa.						
<sup>c</sup>	$u$ -Werte $\pm 0,2\%$ für folgende Massenverteilung: C = 66 – 76 %; H = 22 – 25 %; N = 0 – 12 %.						
<sup>d</sup>	NMHC auf der Grundlage von CH <sub>2,93</sub> (für Gesamt-HC ist der $u_{\text{gas}}$ -Faktor für CH <sub>4</sub> zu verwenden).						
<sup>e</sup>	$u$ -Werte $\pm 0,2\%$ 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  $m_{\text{ed}}$  während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers konstant in einem Toleranzbereich von  $\pm 6\text{ K}$  gehalten wird, ist der Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/test] über den Zyklus mithilfe von Gleichung 7-35 zu berechnen:

$$m_{\text{ed}} = 1.293 \cdot V_0 \cdot n_p \cdot \frac{p_p}{101.325} \cdot \frac{273.15}{T} \quad (7-35)$$

Dabei gilt:

$V_0$  = unter Prüfbedingungen gefördertes Gasvolumen je Pumpenumdrehung [ $\text{m}^3/\text{rev}$ ]

$n_p$  = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Prüfung [rev/test]

$p_p$  = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

$\bar{T}$  = mittlere Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneintritt [K]

1,293 kg/m<sup>3</sup> = Lufdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

Wird ein System mit Durchsatzkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so ist die Masse des verdünnten Abgases  $m_{\text{ed},i}$  [kg] während des Zeitintervalls mithilfe von Gleichung 7-36 zu berechnen:

$$m_{\text{ed},i} = 1.293 \cdot V_0 \cdot n_{p,i} \cdot \frac{p_p}{101.325} \cdot \frac{273.15}{\bar{T}} \quad (7-36)$$

Dabei gilt:

$V_0$	=	unter Prüfbedingungen gefördertes Gasvolumen je Pumpenumdrehung [ $\text{m}^3/\text{rev}$ ]
$p_p$	=	absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]
$n_{P,i}$	=	Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Zeitintervall $i$ [ $\text{rev}/\Delta t$ ]
$\bar{T}$	=	mittlere Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneintritt [K]
$1,293 \text{ kg/m}^3$	=	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  $\pm 11 \text{ K}$  gehalten wird, ist der Massendurchsatz  $m_{ed}$  [g/test] über den Zyklus mithilfe von Gleichung 7-37 zu berechnen:

$$m_{ed} = \frac{1.293 \cdot t \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0.5}} \quad (7-37)$$

Dabei gilt:

$t$	=	Zyklusdauer [s]
$K_V$	=	Kalibrierkoeffizient des Venturirohrs mit kritischer Strömung für Normalzustand $\left[ (\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s) / \text{kg} \right]$
$p_p$	=	absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]
$T$	=	absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]
$1,293 \text{ kg/m}^3$	=	Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

Wird ein System mit Durchsatzkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so ist die Masse des verdünnten Abgases  $m_{ed,i}$  [kg] während des Zeitintervalls mithilfe von Gleichung 7-38 zu berechnen:

$$m_{ed,i} = \frac{1.293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0.5}} \quad (7-38)$$

Dabei gilt:

$$\Delta t_i = \text{Zeitintervall der Prüfung [s]}$$

$K_V$	=	Kalibrierkoeffizient des Venturirohrs mit kritischer Strömung für Normalzustand $\left[ \left( \sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s \right) / kg \right]$
$p_p$	=	absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]
$T$	=	absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]
$1,293 \text{ kg/m}^3$	=	Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

#### 2.2.4.3. SSV-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers konstant in einem Toleranzbereich von  $\pm 11 \text{ K}$  gehalten wird, ist die Masse des verdünnten Abgases  $m_{ed} [\text{kg/test}]$  über den Zyklus mithilfe von Gleichung 7-39 zu berechnen:

$$m_{ed} = 1,293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t \quad (7-39)$$

Dabei gilt:

$1,293 \text{ kg/m}^3$	=	Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa
$\Delta t$	=	Zyklusdauer [s]
$q_{VSSV}$	=	Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K) [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Dabei gilt:

$$q_{VSSV} = \frac{A_0}{60} d_v^2 C_d p_p \sqrt{\left[ \frac{1}{T} \left( r_p^{1.4286} - r_p^{1.7143} \right) \cdot \left( \frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1.4286}} \right) \right]} \quad (7-40)$$

Dabei gilt:

$A_0$	=	Sammlung von Konstanten und Einheitenumrechnungen $= 0,0056940 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \cdot \frac{1}{\text{mm}^2} \right]$
$d_v$	=	Durchmesser der SSV-Einschnürung [mm]
$C_d$	=	Durchflusskoeffizient des SSV [-]
$p_p$	=	absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

- $T_{in}$  = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]  
 $r_p$  = Verhältnis zwischen den absoluten statischen Drücken an der Einschnürung und am Eintritt des SSV,  $\left(1 - \frac{\Delta p}{p_a}\right) [-]$   
 $r_D$  = Verhältnis zwischen den Innendurchmessern an der Einschnürung und am Eintritt des SSV  $\frac{d}{D} [-]$

Wird ein System mit Durchsatzkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so ist die Masse des verdünnten Abgases  $m_{ed,i}$  [kg] während des Zeitintervalls mithilfe von Gleichung 7-41 zu berechnen:

$$m_{ed,i} = 1,293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t_i \quad (7-41)$$

Dabei gilt:

- $1,293 \text{ kg/m}^3$  = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa  
 $\Delta t_i$  = Zeitintervall [s]  
 $q_{VSSV}$  = Volumendurchsatz des SSV [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

## 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:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1000} \quad (7-42)$$

Dabei gilt:

- $m_f$  = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]  
 $r_s$  = durchschnittliches Probenahmeverhältnis über den Prüfzyklus [-]

Wobei:

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (7-43)$$

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:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1000} \quad (7-44)$$

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:

$$m_{edf} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^N q_{medf,i} \quad (7-45)$$

wobei:

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \cdot r_{d,i} \quad (7-46)$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{q_{mdew,i} - q_{mdw,i}} \quad (7-47)$$

Dabei gilt:

- $q_{medf,i}$  = momentaner äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]
- $q_{new,i}$  = 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:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{ed}}{1000} \quad (7-48)$$

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:

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \quad (7-49)$$

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:

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[ \frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1000} \quad (7-50)$$

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) [-]

### 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:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \quad (7-51)$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \quad (7-52)$$

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

$$q_{mPM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \overline{q_{medf}} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-53)$$

$$\overline{q_{medf}} = \sum_{i=1}^N q_{medfi} \cdot WF_i \quad (7-54)$$

$$m_{sep} = \sum_{i=1}^N m_{sepi} \quad (7-55)$$

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) Für das Mehrfachfilterverfahren

$$q_{mPMi} = \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-56)$$

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

$$q_{mPM} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[ \frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \sum_{i=1}^N \left( 1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \overline{q_{medf}} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-57)$$

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

$$q_{mPMi} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{sep_i}} - \left[ \frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-58)$$

Dabei gilt:

- $q_{mPMi}$  = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase  $i$  [g/h]
- $m_{fi}$  = in der Prüfphase  $i$  abgeschiedene Partikelmasse [mg]
- $m_{sep_i}$  = 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]
- $D$  = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung 7-28 in Nummer 2.2.2.2) [-]
- $q_{medfi}$  = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, in der Prüfphase  $i$  [kg/s]

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so ist  $m_{f,d}/m_d$  durch  $\overline{m_{f,d}/m_d}$  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  $W_{act}$  [kWh] ist mithilfe von Gleichung 7-59 zu berechnen:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (7-59)$$

Dabei gilt:

$P_i$	=	momentane Motorleistung [kW]
$n_i$	=	momentane Motordrehzahl [rpm]
$T_i$	=	momentanes Motordrehmoment [Nm]
$W_{act}$	=	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 7-59 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:

$$T_i = T_{i,\text{meas}} + T_{i,\text{AUX}} \quad (7-60)$$

Dabei gilt:

$T_{i,\text{meas}}$	=	Messwert des momentanen Motordrehmoments
$T_{i,\text{AUX}}$	=	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  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] sind in Abhängigkeit von der Art des Prüfzyklus wie folgt zu berechnen.

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \quad (7-61)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{gas}}$	=	Gesamtmasse der Emission [g/test]
$W_{\text{act}}$	=	Zyklusarbeit [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] für andere gasförmige Emissionen als CO<sub>2</sub> ein gewichteter Durchschnittswert aus dem Prüflauf mit Kaltstart und dem Prüflauf mit Warmstart nach Gleichung 7-62:

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0.1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0.9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0.1 \cdot W_{\text{act,cold}}) + (0.9 \cdot W_{\text{act,hot}})} \quad (7-62)$$

Dabei ist:

$m_{\text{cold}}$  die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [g]

$W_{\text{act,cold}}$  die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [kWh]

$m_{\text{hot}}$  die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{\text{act,hot}}$  die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis  $e_{\text{CO}_2}$  [g/kWh] für  $\text{CO}_2$  aus dem NRTC mit Warmstart mithilfe von Gleichung 7-63 zu berechnen:

$$e_{\text{CO}_2,\text{hot}} = \frac{m_{\text{CO}_2,\text{hot}}}{W_{\text{act,hot}}} \quad (7-63)$$

Dabei ist:

$m_{\text{CO}_2,\text{hot}}$  die  $\text{CO}_2$ -Emissionsmenge bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{\text{act,hot}}$  die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

#### 2.4.1.2. Einzelphasen-NRSC

Die spezifischen Emissionen  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-64 zu berechnen:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (q_{m_{\text{gas},i}} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-64)$$

Dabei gilt:

$q_{m_{\text{gas},i}}$  = mittlerer Massendurchsatz der Emission für die Prüfphase  $i$  [g/h]

$P_i$  = Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$  (siehe Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$  = Wichtigungsfaktor 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  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] bzw.  $m_{\text{gas}}$  [g/test] durch  $e_{\text{PM}}$  [g/kWh] bzw.  $m_{\text{PM}}$  [g/test] ersetzt werden:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (7-65)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{PM}}$  = Gesamtmasse der Partikelemission, berechnet gemäß Nummer 2.3.1.1 oder 2.3.1.2 [g/test]

$W_{\text{act}}$  = Zyklusarbeit [kWh]

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  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-66 oder 7-67 zu berechnen:

a) Für das Einfachfilterverfahren

$$e_{\text{PM}} = \frac{q_{m\text{PM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-66)$$

Dabei gilt:

$P_i$  = Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$

(siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$  = Wichtigungsfaktor für die Prüfphase  $i$  [-]

$q_{m\text{PM}}$  = Partikelmassendurchsatz [g/h]

b) Für das Mehrfachfilterverfahren

$$e_{\text{PM}} = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{m\text{PM}i} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-67)$$

Dabei gilt:

$P_i$  = Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{\max i} + P_{\text{aux}}$

(siehe die 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:

$$WF_{ei} = \frac{m_{\text{sepi}} \cdot \overline{q_{\text{medf}}}}{m_{\text{sep}} \cdot q_{\text{medfi}}} \quad (7-68)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{sepi}}$  = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase  $i$  durchströmt [kg]

$\overline{q_{\text{medf}}}$  = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]

$q_{\text{medfi}}$  = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases in der Prüfphase  $i$  [kg/s]

$m_{\text{sep}}$  = 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  $\pm 0,005$  (absoluter Wert) abweichen.

#### 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  $\text{m}^3/\text{s}$  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 ( $q_{\nu\text{CVS}}$ ) bei jeder Drosselungseinstellung (mindestens sechs Drosselungseinstellungen) ist nach den Vorschriften des Herstellers aus den Messwerten des Durchsatzmessgeräts in Norm- $\text{m}^3/\text{s}$  zu ermitteln. Der Luftdurchsatz wird dann mithilfe von Gleichung 7-69 in den Pumpendurchsatz ( $V_0$ ) in  $\text{m}^3/\text{rev}$  bei absoluter Temperatur und absolutem Druck am Pumpeneintritt umgerechnet:

$$V_0 = \frac{q_{\nu\text{CVS}}}{n} \cdot \frac{T}{273.15} \cdot \frac{101.325}{p_p} \quad (7-69)$$

Dabei gilt:

$q_{\nu\text{CVS}}$  = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K)  
[ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$T$  = 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:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (7-70)$$

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:

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \quad (7-71)$$

wobei  $D_0$  [m<sup>3</sup>/rev] und  $m$  [m<sup>3</sup>/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.

Der Luftdurchsatz ( $q_{VCVS}$ ) ist bei jeder Drosselungseinstellung (mindestens acht Drosselungseinstellungen) nach den Vorschriften des Herstellers aus den Messwerten des Durchsatzmessgeräts in Norm-m<sup>3</sup>/s zu ermitteln. Der Kalibrierkoeffizient  $K_v$   $\left[\left(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s\right)/kg\right]$  ist anhand der Kalibrierdaten für jede Drosselungseinstellung mithilfe von Gleichung 7-72 zu berechnen:

$$K_v = \frac{q_{VCVS} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \quad (7-72)$$

Dabei gilt:

$q_{VSSV}$  = Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K)  
[m<sup>3</sup>/s]

$T$  = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

$p_p$  = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

Für  $K_v$  sind der Durchschnittswert und die Standardabweichung zu berechnen. Die Standardabweichung darf  $\pm 0,3\%$  des Mittelwerts von  $K_v$  nicht überschreiten.

### 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<sup>3</sup>/s zu ermitteln. Der Durchflusskoeffizient ist anhand der Kalibrierdaten für jede Drosselungseinstellung mithilfe von Gleichung 7-73 zu berechnen:

$$C_d = \frac{q_{VSSV}}{\frac{A_0}{60} d_v^2 p_p \sqrt{\left[ \frac{1}{T_{in,V}} \left( r_p^{1.4286} - r_p^{1.7143} \right) \left( \frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1.4286}} \right) \right]}} \quad (7-73)$$

Dabei gilt:

$A_0$	=	Sammlung von Konstanten und Einheitenumwandlungen = $0,0056940 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \cdot \frac{1}{\text{mm}^2} \right]$
$q_{VSSV}$	=	Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K) $[\text{m}^3/\text{s}]$
$T_{in,V}$	=	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:

$$Re = A_i \cdot 60 \cdot \frac{q_{VSSV}}{d_V \cdot \mu} \quad (7-74)$$

Dabei gilt:

$$\mu = \frac{b \times T^{1.5}}{S + T} \quad (7-75)$$

Dabei gilt:

$A_i$	=	Sammlung von Konstanten und Einheitenrechnungen = $27,43831 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{min}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]$
$q_{VSSV}$	=	Luftdurchsatz bei Standardbedingungen (101,325 kPa, 273,15 K) $[\text{m}^3/\text{s}]$
$d_V$	=	Durchmesser der SSV-Einschnürung [mm]
$\mu$	=	absolute oder dynamische Viskosität des Gases [ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ ]
$b$	=	$1,458 \times 10^6$ (empirische Konstante) [ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{0.5})$ ]

$$S = 110,4 \text{ (empirische Konstante) [K]}$$

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  $\pm 0,5\%$  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:

$$c_{idriftcor} = c_{refzero} + (c_{refspan} - c_{refzero}) \frac{2c_i - (c_{prezero} + c_{postzero})}{(c_{prespan} + c_{postspan}) - (c_{prezero} + c_{postzero})} \quad (7-76)$$

Dabei gilt:

- $c_{idriftcor}$  = driftkorrigierte Konzentration [ppm]  
 $c_{refzero}$  = Bezugswert der Konzentration des Nullgases; in der Regel null, es sei denn, ein anderer Wert ist bekannt [ppm]  
 $c_{refspan}$  = Bezugswert der Konzentration des Justergases [ppm]  
 $c_{prespan}$  = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justergaskonzentration vor dem Prüfintervall [ppm]  
 $c_{postspan}$  = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justergaskonzentration nach dem Prüfintervall [ppm]  
 $c_i$  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]

**DE**

45

**DE**

### 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>i</i>	Einzelwert einer Reihe
idle	Zustand im Leerlauf
in	Eintrittsgröße
init	Ausgangsgröße, in der Regel vor einer
max	Maximalwert (d. h. Spitzenwert)
meas	gemessene Größe
min	Mindestwert
mix	Molmasse von Luft
out	Austrittsgröße
part	Teilgröße
PDP	Verdrängerpumpe
raw	Rohabgas
ref	Bezugsgröße
rev	Umdrehung
sat	gesättigter Zustand

slip	PDP-Verlust
smpl	Probenahme
span	Justiergröße
SSV	Venturirohr mit subsonischer Strömung
std	Standardgröße
test	Prüfgröße
total	Gesamtgröße
uncor	nicht korrigierte Größe
vac	Unterdruckgröße
weight	Kalibriergewicht
wet	feuchte Größe
zero	Nullgröße

### 3.2. Symbole für das chemische Gleichgewicht

- $x_{\text{dil/exh}}$  = Menge an Verdünnungsgas oder Luftüberschuss pro Mol Abgas  
 $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$  = Wassermenge im Abgas pro Mol Abgas  
 $x_{\text{Ccombdry}}$  = Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas  
 $x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$  = Wassermenge im Abgas pro Trockenmol trockenes Abgas  
 $x_{\text{prod/intdry}}$  = Menge an trockenen stöchiometrischen Produkten pro Trockenmol Ansaugluft  
 $x_{\text{dil/exhdry}}$  = Menge an Verdünnungsgas und/oder Luftüberschuss pro Mol trockenes Abgas  
 $x_{\text{int/exhdry}}$  = Menge der zur Erzeugung tatsächlicher Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas  
 $x_{\text{raw/exhdry}}$  = Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas  
 $x_{\text{O}_2\text{intdry}}$  = Menge an  $\text{O}_2$  in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft  
 $x_{\text{CO}_2\text{intdry}}$  = Menge an  $\text{CO}_2$  in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft  
 $x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}$  = Menge an  $\text{H}_2\text{O}$  in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft  
 $x_{\text{CO}_2\text{int}}$  = Menge an  $\text{CO}_2$  in der Ansaugluft pro Mol Ansaugluft  
 $x_{\text{CO}_2\text{dil}}$  = Menge an  $\text{CO}_2$  im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas

$x_{\text{CO}_2\text{dildry}}$  = Menge an  $\text{CO}_2$  im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas  
 $x_{\text{H}_2\text{O}\text{dildry}}$  = Menge an  $\text{H}_2\text{O}$  im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas  
 $x_{\text{H}_2\text{Odil}}$  = Menge an  $\text{H}_2\text{O}$  im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas  
 $x_{[\text{emission}]\text{meas}}$  = Menge an gemessener Emission in der Probe am jeweiligen Gasanalysator  
 $x_{[\text{emission}]\text{dry}}$  = Emissionsmenge pro Trockenmol der trockenen Probe  
 $x_{\text{H}_2\text{O}[\text{emission}]\text{meas}}$  = Wassermenge in der Probe am Ort der Emissionsbestimmung  
 $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$  = 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:

$$x_{\text{O}_2\text{airdry}} = 0,209445 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{Ar}\text{airdry}} = 0,00934 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{N}_2\text{airdry}} = 0,78084 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{CO}_2\text{airdry}} = 375 \mu\text{mol/mol}$$

In diesem Abschnitt werden die folgenden Molmassen oder effektiven Molmassen von chemischen Spezies verwendet:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol (Trockenluft)}$$

$$M_{\text{Ar}} = 39,948 \text{ g/mol (Argon)}$$

$$M_{\text{C}} = 12,0107 \text{ g/mol (Kohlenstoff)}$$

$$M_{\text{CO}} = 28,0101 \text{ g/mol (Kohlenmonoxid)}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 44,0095 \text{ g/mol (Kohlendioxid)}$$

$$M_{\text{H}} = 1,00794 \text{ g/mol (atomarer Wasserstoff)}$$

$$M_{\text{H}_2} = 2,01588 \text{ g/mol (molekularer Wasserstoff)}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,01528 \text{ g/mol (Wasser)}$$

$M_{\text{He}} = 4,002602 \text{ g/mol}$  (Helium)

$M_{\text{N}} = 14,0067 \text{ g/mol}$  (atomarer Stickstoff)

$M_{\text{N}_2} = 28,0134 \text{ g/mol}$  (molekularer Stickstoff)

$M_{\text{NO}_x} = 46,0055 \text{ g/mol}$  (Stickstoffoxide<sup>b</sup>)

$M_{\text{O}} = 15,9994 \text{ g/mol}$  (atomarer Sauerstoff)

$M_{\text{O}_2} = 31,9988 \text{ g/mol}$  (molekularer Sauerstoff)

$M_{\text{C}_3\text{H}_8} = 44,09562 \text{ g/mol}$  (Propan)

$M_{\text{S}} = 32,065 \text{ g/mol}$  (Schwefel)

$M_{\text{HC}} = 13,875389 \text{ g/mol}$  (sämtliche Kohlenwasserstoffe<sup>a</sup>)

a) Die effektive Molmasse von HC ist durch ein Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis  $\alpha$  von 1,85 definiert.

b) Die effektive Molmasse von NOx ist durch die Molmasse von Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) definiert.

In diesem Abschnitt wird die folgende molare Gaskonstante  $R$  für ideale Gase verwendet:

$$R = 8,314472 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

In diesem Abschnitt werden die folgenden spezifischen Wärmeverhältnisse  $\gamma$  [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]/[ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ] für Verdünnungsluft und verdünntes Abgas verwendet:

$\gamma_{\text{air}} = 1,399$  (spezifisches Wärmeverhältnis für Ansaugluft oder Verdünnungsluft)

$\gamma_{\text{dil}} = 1,399$  (spezifisches Wärmeverhältnis für verdünntes Abgas)

$\gamma_{\text{exh}} = 1,385$  (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  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  [kPa] für bestimmte Sättigungstemperaturbedingungen  $T_{\text{sat}}$  [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:

$$\log_{10}(p_{\text{H}_2\text{O}}) = 10.79574 \cdot \left(1 - \frac{273.16}{T_{\text{sat}}}\right) - 5.02800 \cdot \log_{10}\left(\frac{T_{\text{sat}}}{273.16}\right) + \\ + 1.50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{-8.2969 \cdot \left(\frac{T_{\text{sat}}}{273.16} - 1\right)}\right) + 0.42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4.76955 \cdot \left(1 - \frac{273.16}{T_{\text{sat}}}\right)} - 1\right) - 0.2138602$$

(7-77)

Dabei gilt:

$p_{\text{H}_2\text{O}}$  = Dampfdruck von Wasser bei Sättigungstemperaturbedingungen [kPa]

$T_{\text{sat}}$  = Sättigungstemperatur von Wasser bei gemessenen Bedingungen [K]

- b) Bei Feuchtigkeitsmessungen über Eis bei Umgebungstemperaturen von (-100 bis 0) °C:

$$\log_{10}(p_{\text{H}_2\text{O}}) = -9.096853 \cdot \left(\frac{273.16}{T_{\text{sat}}} - 1\right) - 3.566506 \cdot \log_{10}\left(\frac{273.16}{T_{\text{sat}}}\right) + 0.876812 \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{sat}}}{273.16}\right) - 0.2138602$$

(7-78)

Dabei gilt:

$T_{\text{sat}}$  = Sättigungstemperatur von Wasser bei gemessenen Bedingungen [K]

### 3.3.2.2. Taupunkt

Wird Feuchtigkeit als Taupunkt gemessen, wird die Wassermenge in einem idealen Gas  $x_{\text{H}_2\text{O}}$  [mol/mol] mithilfe von Gleichung 7-79 berechnet:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{abs}}} \quad (7-79)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$  = Wassermenge in einem idealen Gas [mol/mol]

- $p_{\text{H}_2\text{O}}$  = Dampfdruck von Wasser am gemessenen Taupunkt,  $T_{\text{sat}}=T_{\text{dew}}$  [kPa]
- $p_{\text{abs}}$  = 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  $x_{\text{H}_2\text{O}}$  [mol/mol] mithilfe von Gleichung 7-80 berechnet:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{RH\%}{100} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{abs}}} \quad (7-80)$$

Dabei gilt:

$RH\%$  = relative Feuchtigkeit [%]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$  = Wasserdampfdruck bei 100 % relativer Feuchtigkeit am Ort der Messung der relativen Feuchtigkeit,  $T_{\text{sat}}=T_{\text{amb}}$  [kPa]

$p_{\text{abs}}$  = 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  $T_{\text{dew}}$  aus  $RH\%$  und Trockentemperatur mithilfe von Gleichung 7-81 berechnet:

$$T_{\text{dew}} = \frac{2.0798233 \cdot 10^2 - 2.0156028 \cdot 10^1 \cdot \ln(p_{\text{H}_2\text{O}}) + 4.6778925 \cdot 10^{-1} \cdot \ln(p_{\text{H}_2\text{O}})^2 - 9.2288067 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(p_{\text{H}_2\text{O}})^3}{1 - 1.3319669 \cdot 10^{-1} \cdot \ln(p_{\text{H}_2\text{O}}) + 5.6577518 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(p_{\text{H}_2\text{O}})^2 - 7.517286510 \cdot 10^{-5} \cdot \ln(p_{\text{H}_2\text{O}})^3} \quad (7-81)$$

Dabei gilt:

$p_{\text{H}_2\text{O}}$  = Wasserdampfdruck im Verhältnis zur relativen Feuchtigkeit am Ort der Messung der relativen Feuchtigkeit,  $T_{\text{sat}} = T_{\text{amb}}$

$T_{\text{dew}}$  = Taupunkt wie aus Messungen der relativen Feuchtigkeit und der Trockentemperatur bestimmt

### 3.3.3. Kraftstoffeigenschaften

Die allgemeine chemische Formel des Kraftstoffs lautet  $\text{CH}_{\alpha}\text{O}_{\beta}\text{S}_{\gamma}\text{N}_{\delta}$ , 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  $w_{\text{C}}$  berechnet werden. Bei

Dieselkraftstoff kann die einfache Formel  $\text{CH}_{\alpha}\text{O}_{\beta}$  angewendet werden. Für die Kraftstoffzusammensetzung können die Vorgabewerte aus Tabelle 7.3 verwendet werden:

*Tabelle 7.3*

**Vorgabewerte für das Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis  $\alpha$ , das Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis  $\beta$ , das Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis  $\gamma$ , das Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis  $\delta$  und die Kohlenstoffmassenfraktion des Kraftstoffs  $w_C$  für Dieselkraftstoffe**

Kraftstoff	Wasserstoff-, Sauerstoff-, Schwefel- und Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$	Kohlenstoffmassenkonzentration $w_C$ [g/g]
Diesel (nicht für den Straßenverkehr bestimmter Dieselkraftstoff)	$\text{CH}_{1,80}\text{O}_0\text{S}_0\text{N}_0$	0,869
Ethanol für bestimmte Selbstzündungsmotoren (ED95)	$\text{CH}_{2,92}\text{O}_{0,46}\text{S}_0\text{N}_0$	0,538
Benzin (E10)	$\text{CH}_{1,92}\text{O}_{0,03}\text{S}_0\text{N}_0$	0,833
Benzin (E0)	$\text{CH}_{1,85}\text{O}_0\text{S}_0\text{N}_0$	0,866
Ethanol (E85)	$\text{CH}_{2,73}\text{O}_{0,36}\text{S}_0\text{N}_0$	0,576
LPG	$\text{CH}_{2,64}\text{O}_0\text{S}_0\text{N}_0$	0,819
Erdgas/Biomethan	$\text{CH}_{3,78}\text{O}_{0,016}\text{S}_0\text{N}_0$	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  $\alpha$  und  $\beta$  sind für den Kraftstoff zu bestimmen und in jedem Fall in die Gleichung einzusetzen,  $\gamma$  und  $\delta$  können jedoch auf null gesetzt werden, wenn sie in der entsprechenden Zeile der Tabelle 7.3 null entsprechen:

$$w_C = \frac{1 \cdot M_C}{1 \cdot M_C + \alpha \cdot M_H + \beta \cdot M_O + \gamma \cdot M_S + \delta \cdot M_N} \quad (7-82)$$

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

### 3.3.4. Berichtigung der Gesamt-HC/(THC)-Konzentration um anfängliche Verunreinigung

Bei der Messung von HC wird  $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]}$  unter Verwendung der anfänglichen Konzentration der THC-Verunreinigung  $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{init}}}$  gemäß Anhang VI Nummer 7.3.1.2 mithilfe von Gleichung 7-83 berechnet:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{cor}}} = x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{uncorr}}} - x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{init}}} \quad (7-83)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{cor}}}$	=	um Verunreinigung korrigierte THC-Konzentration [mol/mol]
$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{uncorr}}}$	=	nicht korrigierte THC-Konzentration [mol/mol]
$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]^{\text{init}}}$	=	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  $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ , 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  $x_{\text{dil/exh}}$ , 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.

#### 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  $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ , die Verdünnungsluftfraktion im verdünnten Abgas (oder der Luftüberschuss im Rohabgas)  $x_{\text{dil/exh}}$  und die Produktmenge auf C1-Basis pro Trockenmol des trockenen gemessenen Durchsatzes  $x_{\text{Ccombdry}}$ . Im chemischen Gleichgewicht dürfen zeitlich gewichtete Mittelwerte der Feuchtigkeit der Verbrennungsluft und der Feuchtigkeit der Verdünnungsluft verwendet werden, vorausgesetzt, die Feuchtigkeit der Verbrennungs- und der Verdünnungsluft bewegt sich während des Prüfintervalls innerhalb der Toleranz von  $\pm 0,0025$  mol/mol des jeweiligen Mittelwerts. Für jede Emissionskonzentration  $x$  und Wassermenge  $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$  ist die Konzentration im vollkommen trockenen Bezugszustand  $x_{\text{dry}}$  und  $x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$  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:

- Gemessene Konzentrationen wie  $x_{CO_2meas}$ ,  $x_{NOmeas}$ , 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.
- 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  $\pm 1\%$  der jeweiligen zuletzt berechneten Werte liegen.
- 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
$x_{Ccombdry}$	Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas
$x_{H2Oexhdry}$	Wassermenge im Abgas pro Trockenmol trockenes Abgas

$x_{\text{prod/intdry}}$	Menge an trockenen stöchiometrischen Produkten pro Trockenmol Ansaugluft
$x_{\text{dil/exdry}}$	Menge an Verdünnungsgas und/oder Luftüberschuss pro Mol trockenes Abgas
$x_{\text{int/exdry}}$	Menge der zur Erzeugung tatsächlicher Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas
$x_{\text{raw/exdry}}$	Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas
$x_{\text{O}_2\text{intdry}}$	Menge an $\text{O}_2$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft $x_{\text{O}_2\text{intdry}} = 0,209445 \text{ mol/mol}$ kann angenommen werden
$x_{\text{CO}_2\text{intdry}}$	Menge an $\text{CO}_2$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft $x_{\text{CO}_2\text{intdry}} = 375 \mu\text{mol/mol}$ kann angenommen werden, doch die Messung der tatsächlichen Konzentration in der Ansaugluft wird empfohlen
$x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}$	Menge an $\text{H}_2\text{O}$ in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft
$x_{\text{CO}_2\text{int}}$	Menge an $\text{CO}_2$ in der Ansaugluft pro Mol Ansaugluft
$x_{\text{CO}_2\text{dil}}$	Menge an $\text{CO}_2$ im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas
$x_{\text{CO}_2\text{dildry}}$	Menge an $\text{CO}_2$ im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas. Dient Luft als Verdünnungsgas, kann $x_{\text{CO}_2\text{dildry}} = 375 \mu\text{mol/mol}$ angenommen werden, doch die Messung der tatsächlichen Konzentration in der Ansaugluft wird empfohlen
$x_{\text{H}_2\text{Odildry}}$	Menge an $\text{H}_2\text{O}$ im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas
$x_{\text{H}_2\text{Odil}}$	Menge an $\text{H}_2\text{O}$ im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas
$x_{[\text{emission}]meas}$	Menge an gemessener Emission in der Probe am jeweiligen Gasanalysator
$x_{[\text{emission}]dry}$	Emissionsmenge pro Trockenmol der trockenen Probe
$x_{\text{H}_2\text{O}[\text{emission}]meas}$	Wassermenge in der Probe am Ort der Emissionsbestimmung. Diese Werte sind gemäß Nummer 9.3.2.3.1 zu messen oder zu schätzen
$x_{\text{H}_2\text{Oint}}$	Wassermenge in der Ansaugluft auf der Grundlage einer Feuchtigkeitsmessung der Ansaugluft
$K_{\text{H}_2\text{Ogas}}$	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 ( $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$ ), gewichtet nach molarem Verbrauch
$\beta$	Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs ( $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$ ), gewichtet nach molarem Verbrauch

- d) Die nachstehenden Gleichungen [(7-84) bis (7-101)] sind zur iterativen Bestimmung von  $x_{\text{dil/exh}}$ ,  $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$  und  $x_{\text{Ccombdry}}$  anzuwenden:

$$x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exhdry}}}{1 + x_{\text{H2Oexhdry}}} \quad (7-84)$$

$$x_{\text{H2Oexh}} = \frac{x_{\text{H2Oexhdry}}}{1 + x_{\text{H2Oexhdry}}} \quad (7-85)$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO2dry}} + x_{\text{COdry}} + x_{\text{THCdry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} - x_{\text{CO2int}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (7-86)$$

$$x_{\text{H2dry}} = \frac{x_{\text{COdry}} \cdot (x_{\text{H2Oexhdry}} - x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}})}{K_{\text{H2Ogas}} \cdot (x_{\text{CO2dry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}})} \quad (7-87)$$

$$x_{\text{H2Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2} (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H2Oint}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{H2dry}} \quad (7-88)$$

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{\text{H2Oexh}}} \quad (7-89)$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O2int}}} \left[ \left( \frac{\alpha}{2} - \beta + 2 + 2\gamma \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO2dry}} + x_{\text{H2dry}}) \right] \quad (7-90)$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\alpha}{2} + \beta + \delta \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO2dry}} + x_{\text{H2dry}}) \right] + x_{\text{int/exhdry}} \quad (7-91)$$

$$x_{\text{O2int}} = \frac{0.209820 - x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{\text{H2Ointdry}}} \quad (7-92)$$

$$x_{\text{CO2int}} = \frac{x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{\text{H2Ointdry}}} \quad (7-93)$$

$$x_{\text{H2Ointdry}} = \frac{x_{\text{H2Oint}}}{1 - x_{\text{H2Oint}}} \quad (7-94)$$

$$x_{\text{CO2dil}} = \frac{x_{\text{CO2dildry}}}{1 + x_{\text{H2Odildry}}} \quad (7-95)$$

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{\text{H2Odil}}} \quad (7-96)$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OCOmeas}}} \quad (7-97)$$

$$x_{\text{CO}2\text{dry}} = \frac{x_{\text{CO2meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OCO2meas}}} \quad (7-98)$$

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONOmeas}}} \quad (7-99)$$

$$x_{\text{NO}2\text{dry}} = \frac{x_{\text{NO2meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONO2meas}}} \quad (7-100)$$

$$x_{\text{THCdry}} = \frac{x_{\text{THCmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OTHCmeas}}} \quad (7-101)$$

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<sub>x</sub>-Feuchtigkeitskorrektur

Alle NO<sub>x</sub>-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

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxuncor}} \cdot (9.953 \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} + 0.832) \quad (7-102)$$

(b) für Fremdzündungsmotoren

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxuncor}} \cdot (18.840 \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} + 0.68094) \quad (7-103)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{NOxuncor}}$  = nicht korrigierte NO<sub>x</sub>-Molkonzentration im Abgas [ $\mu\text{mol/mol}$ ]

$x_{\text{H}_2\text{O}}$  = 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):

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \quad (7-104)$$

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:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \Rightarrow m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (7-105)$$

Dabei gilt:

$M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exhi}}$  = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$x_{\text{gasi}}$  = 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  $m_{\text{gas}}$  [g/test] mithilfe von Gleichung 7-106 zu berechnen:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (7-106)$$

Dabei gilt:

- $M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]  
 $\dot{n}_{\text{exh}}$  = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]  
 $x_{\text{gasi}}$  = 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  $m_{\text{gas}}$  [g/test] mithilfe von Gleichung 7-107 zu berechnen:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{n}_{\text{exh}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \Delta t \quad (7-107)$$

Dabei gilt:

- $M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]  
 $\dot{n}_{\text{exh}}$  = Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]  
 $\bar{x}_{\text{gas}}$  = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]  
 $\Delta t$  = 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:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \quad (7-108)$$

Dabei gilt:

- $M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]  
 $\dot{n}_{\text{exhi}}$  = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]  
 $\bar{x}_{\text{gas}}$  = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$f$  = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

### 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  $x_{\text{gasdry}}$  und  $x_{\text{gas}}$  [mol/mol], ausgedrückt jeweils auf trockener und feuchter Basis, besteht die folgende Beziehung (Gleichungen 7-109 und 7-110):

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (7-109)$$

$$x_{\text{gas}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Odry}}} \quad (7-110)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$  = Wassermolfraktion im gemessenen Durchsatz, feucht [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Odry}}$  = Wassermolfraktion im gemessenen Durchsatz, trocken [mol/mol]

Bei gasförmigen Emissionen wird für die generische Konzentration  $x$  [mol/mol] eine Korrektur für das abgeschiedene Wasser mithilfe von Gleichung 7-111 vorgenommen:

$$x = x_{[\text{emission}]\text{meas}} \left[ \frac{(1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}})}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}[\text{emission}]\text{meas}}} \right] \quad (7-111)$$

Dabei gilt:

$x_{[\text{emission}]\text{meas}}$  = Molfraktion der Emission im gemessenen Durchsatz am Ort der Messung [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O}[\text{emission}]\text{meas}}$  = Wassermenge im gemessenen Durchsatz bei der Konzentrationsmessung [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$  = 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  $\dot{n}_{\text{exh}}$  auf der Grundlage des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft  $\dot{n}_{\text{int}}$  oder des gemessenen Massendurchsatzes des Kraftstoffs  $\dot{m}_{\text{fuel}}$  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  $\dot{n}_{\text{int}}$  oder  $\dot{m}_{\text{fuel}}$  aktualisiert und aufgezeichnet werden.

- a) Kurbelgehäuse-Durchfluss. Der Rohabgasdurchsatz kann nur dann auf der Basis von  $\dot{n}_{\text{int}}$  oder  $\dot{m}_{\text{fuel}}$  berechnet werden, wenn zumindest einer der folgenden Sachverhalte auf den Emissionsdurchsatz des Kurbelgehäuses zutrifft:
  - i) Der Prüfmotor verfügt über ein Produktions-Emissionsminderungssystem mit einem geschlossenen Kurbelgehäuse, das den Kurbelgehäuse-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;
  - 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  $\dot{n}_{\text{int}}$  ist der Moldurchsatz des Abgases  $\dot{n}_{\text{exh}}$  [mol/s] mithilfe von Gleichung 7-112 zu berechnen:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{n}_{\text{int}}}{\left[ 1 + \frac{(x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{raw/exhdry}})}{(1 + x_{\text{H2Oexhdry}})} \right]} \quad (7-112)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{exh}}$	=	Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]
$\dot{n}_{\text{int}}$	=	Moldurchsatz der Ansaugluft einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [mol/s]

$x_{\text{int/exhdry}}$	=	Menge der zur Erzeugung tatsächlicher Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]
$x_{\text{raw/exhdry}}$	=	Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	=	Wassermenge im Abgas pro Trockenmol trockenes Abgas [mol/mol]

- c) Berechnung des Moldurchsatzes auf der Basis des Massendurchsatzes des Kraftstoffs

Auf der Grundlage von  $\dot{m}_{\text{fuel}}$  ist der Moldurchsatz des Abgases  $\dot{n}_{\text{exh}}$  [mol/s] wie folgt zu berechnen:

Bei Laborprüfungen kann diese Berechnung nur für Einzelphasen-NRSC oder RMC verwendet werden (Gleichung 7-113).

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_C \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})}{M_C \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (7-113)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{exh}}$	=	Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden
$\dot{m}_{\text{fuel}}$	=	Kraftstoffdurchsatz einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [g/s]
$w_C$	=	Kohlenstoffmassenfraktion des jeweiligen Kraftstoffs [g/g]
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	=	Menge an $\text{H}_2\text{O}$ pro Trockenmol des gemessenen Durchsatzes [mol/mol]
$M_C$	=	Molekülmasse von Kohlenstoff: 12,0107 g/mol
$x_{\text{Ccombdry}}$	=	Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas [mol/mol]

- 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  $\dot{n}_{\text{exh}}$  [mol/s] kann auf der Grundlage des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft  $\dot{n}_{\text{int}}$  oder des gemessenen Moldurchsatzes des

verdünnten Abgases  $\dot{n}_{\text{dexh}}$  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  $\dot{n}_{\text{int}}$  oder  $\dot{n}_{\text{dexh}}$  aktualisiert und aufgezeichnet werden. Der so errechnete Wert  $\dot{n}_{\text{dexh}}$  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  $\dot{n}_{\text{exh}}$  [mol/s] wie folgt zu berechnen:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = (x_{\text{raw/exhdry}} - x_{\text{int/exhdry}}) \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}}) \cdot \dot{n}_{\text{dexh}} + \dot{n}_{\text{int}} \quad (7-114)$$

wobei gilt:

$\dot{n}_{\text{exh}}$  = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]

$x_{\text{int/exhdry}}$  = Menge der zur Erzeugung der tatsächlichen Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{\text{raw/exhdry}}$  = Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$  = Wassermenge im Abgas pro Mol Abgas [mol/mol]

$\dot{n}_{\text{dexh}}$  = Moldurchsatz des verdünnten Abgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]

$\dot{n}_{\text{int}}$  = 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  $m_{\text{gas}}$  [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:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}}$$

(siehe Gleichung 7-106)

Dabei gilt:

$M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exhi}}$  = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$x_{\text{gasi}}$  = momentane generische Molkonzentration des Gases, feucht [mol/mol]

$f$  = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

$N$  = Zahl der Messungen [-]

Kontinuierliche Probenahme, konstanter Durchsatz, zu berechnen mithilfe von Gleichung 7-107:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{n}_{\text{exh}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \Delta t$$

(siehe Gleichung 7-107)

Dabei gilt:

$M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exh}}$  = Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$  = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$\Delta t$  = Dauer des Prüfintervalls

- b) Bei der Stichprobenahme ist unabhängig davon, ob der Durchsatz variabel oder konstant ist, Gleichung 7-108 anzuwenden:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}}$$

(siehe Gleichung 7-108)

Dabei gilt:

$M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exhi}}$  = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$  = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

$f$  = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

- c) Bei 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  $\dot{n}_{\text{airdil}}$  [mol/s] während des Prüfintervalls ermittelt. Dabei kann es sich um eine gemessene Größe oder um eine aus dem Durchsatz des verdünnten Abgases und der nach Durchsatz gewichteten mittleren Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas berechnete Größe  $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$  handeln.
  - ii) Der Gesamtdurchsatz der Verdünnungsluft  $n_{\text{airdil}}$  [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  $n_{\text{airdil}}$  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  $M_{\text{gas}}$  [g/mol] in die Masse der Hintergrundemission  $m_{\text{bkgnd}}$  [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  $n_{\text{airdil}}$  berechnet. Die Masse der Hintergrundemission wird von der Gesamtmasse abgezogen. Das Ergebnis wird für bremsspezifische Emissionsberechnungen verwendet.
  - 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  $n_{\text{dexh}}$  berechnet werden. Dieses Ergebnis wird anschließend mit der nach Durchsatz gewichteten mittleren Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas  $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$  multipliziert.

Unter Berücksichtigung der beiden Fälle v und vi sind die Gleichungen 7-115 und 7-116 anzuwenden:

$$m_{\text{bknd}} = M_{\text{gas}} \cdot x_{\text{gasdil}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad \text{oder} \quad m_{\text{bknd}} = M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{dil/exh}} \cdot \bar{x}_{\text{bknd}} \cdot n_{\text{dexh}} \quad (7-115)$$

$$m_{\text{gascor}} = m_{\text{gas}} - m_{\text{bknd}} \quad (7-116)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{gas}}$  = Gesamtmasse der gasförmigen Emission [g]

$m_{\text{bknd}}$  = Gesamtmasse der Hintergrundemissionen [g]

$m_{\text{gascor}}$  = Masse des in Bezug auf Hintergrundemissionen korrigierten Gases [g]

$M_{\text{gas}}$  = Molmasse der generischen gasförmigen Emission [g/mol]

$x_{\text{gasdil}}$  = Konzentration der gasförmigen Emission in der Verdünnungsluft [mol/mol]

$n_{\text{airdil}}$  = Moldurchsatz der Verdünnungsluft [mol]

$\bar{x}_{\text{dil/exh}}$  = nach Durchsatz gewichtete mittlere Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas [mol/mol]

$\bar{x}_{\text{bknd}}$  = Gasfraktion der Hintergrundemission [mol/mol]

$n_{\text{dexh}}$  = 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 Wasserdampfffraktion  $x_{\text{H2Odildry}}$  [mol/mol] mithilfe von Gleichung 7-96 durchgeführt:

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{\text{H2Odil}}} \quad (\text{siehe Gleichung 7-96})$$

Dabei gilt:

$x_{\text{H2Odil}}$  = Wassermolfraktion im Verdünnungsluftdurchsatz [mol/mol]

### 3.6.3. Moldurchsatz des Abgases

- a) Berechnung mittels des chemischen Gleichgewichts

Der Moldurchsatz  $\dot{n}_{\text{exh}}$  [mol/s] kann auf der Basis des Massendurchsatzes des Kraftstoffs  $\dot{m}_{\text{fuel}}$  mithilfe von Gleichung 7-113 berechnet werden:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_C \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})}{M_C \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (\text{siehe Gleichung 7-113})$$

Dabei gilt:

- $\dot{n}_{\text{exh}}$  = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden
- $\dot{m}_{\text{fuel}}$  = Kraftstoffdurchsatz einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [g/s]
- $w_C$  = Kohlenstoffmassenfraktion des jeweiligen Kraftstoffs [g/g]
- $x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$  = Menge an  $\text{H}_2\text{O}$  pro Trockenmol des gemessenen Durchsatzes [mol/mol]
- $M_C$  = Molekülmasse von Kohlenstoff: 12,0107 g/mol
- $x_{\text{Ccombdry}}$  = 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:

$$\dot{n} = f_{n,\text{PDP}} \cdot \frac{p_{\text{in}} \cdot V_{\text{rev}}}{R \cdot T_{\text{in}}} \quad (7-117)$$

Dabei gilt:

$$V_{\text{rev}} = \frac{a_1}{f_{n,\text{PDP}}} \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{out}} - p_{\text{in}}}{p_{\text{in}}}} + a_0 \quad (7-118)$$

Dabei gilt:

$$a_1 = \text{Kalibrierkoeffizient} [\text{m}^3/\text{s}]$$

$a_0$	=	Kalibrierkoeffizient [ $\text{m}^3/\text{rev}$ ]
$p_{\text{in}}, p_{\text{out}}$	=	Eintritts-/Austrittsdruck [Pa]
$R$	=	molare Gaskonstante [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]
$T_{\text{in}}$	=	Eintrittstemperatur [K]
$V_{\text{rev}}$	=	von der PDP gefördertes Volumen [ $\text{m}^3/\text{rev}$ ]
$f_{n,\text{PDP}}$	=	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:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{\text{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}} \quad (7-119)$$

Dabei gilt:

$p_{\text{in}}$	=	Eintrittsdruck [Pa]
$A_t$	=	Querschnitt der Venturieinschnürung [ $\text{m}^2$ ]
$R$	=	molare Gaskonstante [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]
$T_{\text{in}}$	=	Eintrittstemperatur [K]
$Z$	=	Kompressibilitätsfaktor
$M_{\text{mix}}$	=	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:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{\text{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}} \quad (7-120)$$

Dabei gilt:

$p_{\text{in}}$	=	Eintrittsdruck [Pa]
$A_t$	=	Querschnitt der Venturieinschnürung [ $\text{m}^2$ ]
$R$	=	molare Gaskonstante [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]
$T_{\text{in}}$	=	Eintrittstemperatur [K]
$Z$	=	Kompressibilitätsfaktor
$M_{\text{mix}}$	=	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  $m_{\text{PM}}$  [g] ist mithilfe von Gleichung 7-121 die mittlere PM-Konzentration  $\bar{M}_{\text{PM}}$  (die bereits in Einheiten der Masse pro Mol der Probe angegeben ist) mit dem Gesamtdurchsatz zu multiplizieren:

$$m_{\text{PM}} = \bar{M}_{\text{PM}} \cdot \sum_{i=1}^N (\dot{n}_i \cdot \Delta t_i) \quad (7-121)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_i$	=	momentaner Moldurchsatz des Abgases [mol/s]
$\bar{M}_{\text{PM}}$	=	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:

$$m_{PM} = \bar{M}_{PM} \cdot \dot{n} \cdot \Delta t \quad (7-122)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}$  = Moldurchsatz des Abgases [mol/s]

$\bar{M}_{PM}$  = 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:

$$m_{PM} = m_{PMdil} \cdot DR \quad (7-123)$$

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):

$$DR = \frac{1}{1 - x_{dil/exh}} \quad (7-124)$$

### 3.7.2. Hintergrundkorrektur

Zur Hintergrundkorrektur der Partikelmasse ist der in Nummer 3.6.1 beschriebene Ansatz anzuwenden. Durch Multiplikation von  $\bar{M}_{PMbkgnd}$  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):

$$m_{PMcor} = m_{PMuncor} - \bar{M}_{PMbkgnd} \cdot n_{airdil} \quad (7-125)$$

Dabei gilt:

$m_{PMuncor}$  = nicht korrigierte Partikelmasse [g]

$$\overline{M}_{\text{PMbkgnd}} = \text{mittlere PM-Konzentration in der Verdünnungsluft [g/mol]}$$

$$n_{\text{airdil}} = \text{Moldurchsatz der Verdünnungsluft [mol]}$$

### 3.8. Zyklusarbeit und spezifische Emissionen

#### 3.8.1. Gasförmige Emissionen

##### 3.8.1.1. 2.3.1. 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  $W_{\text{act}}$  [kWh] ist mithilfe von Gleichung 7-126 zu berechnen:

$$W_{\text{act}} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (7-126)$$

Dabei gilt:

$$\begin{aligned} P_i &= \text{momentane Motorleistung [kW]} \\ n_i &= \text{momentane Motordrehzahl [rpm]} \\ T_i &= \text{momentanes Motordrehmoment [N·m]} \\ W_{\text{act}} &= \text{tatsächliche Zyklusarbeit [kWh]} \\ f &= \text{Datenerfassungsfrequenz [Hz]} \\ N &= \text{Zahl der Messungen [-]} \end{aligned}$$

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:

$$T_i = T_{i,\text{meas}} + T_{i,\text{AUX}} \quad (7-127)$$

Dabei gilt:

$$\begin{aligned} T_{i,\text{meas}} &= \text{Messwert des momentanen Motordrehmoments} \\ T_{i,\text{AUX}} &= \text{entsprechender Wert für das Drehmoment, der für den Betrieb von Hilfseinrichtungen nach Anhang VI Nummer 7.7.2.3.2 dieser Verordnung bestimmt wurde} \end{aligned}$$

Die spezifischen Emissionen  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] sind in Abhängigkeit von der Art des Prüfzyklus wie folgt zu berechnen.

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \quad (7-128)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{gas}}$  = Gesamtmasse der Emission [g/test]

$W_{\text{act}}$  = Zyklusarbeit [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] für andere gasförmige Emissionen als CO<sub>2</sub> ein gewichteter Durchschnittswert aus dem Prüflauf mit Kaltstart und dem Prüflauf mit Warmstart, berechnet mithilfe der Gleichung 7-129:

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0.1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0.9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0.1 \cdot W_{\text{actcold}}) + (0.9 \cdot W_{\text{acthot}})} \quad (7-129)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{cold}}$  die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [g]

$W_{\text{act, cold}}$  die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Kaltstart [kWh]

$m_{\text{hot}}$  die Masse der Gasemissionen bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{\text{act, hot}}$  die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

Bei der NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis  $e_{\text{CO}_2}$  [g/kWh] für CO<sub>2</sub> aus dem NRTC mit Warmstart mithilfe von Gleichung 7-130 zu berechnen:

$$e_{\text{CO}_2,\text{hot}} = \frac{m_{\text{CO}_2,\text{hot}}}{W_{\text{act,hot}}} \quad (7-130)$$

Dabei ist:

$m_{\text{CO}_2,\text{hot}}$  die CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [g]

$W_{\text{act, hot}}$  die tatsächliche Zyklusarbeit bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart [kWh]

### 3.8.1.2. Einzelphasen-NRSC

Die spezifischen Emissionen  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] sind mithilfe von Gleichung 7-131 zu berechnen:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (\dot{m}_{\text{gasi}} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-131)$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_{\text{gasi}}$  = mittlerer Massendurchsatz der Emission für die Prüfphase  $i$  [g/h]

$P_i$  = Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$   
(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. 2.3.1. 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  $e_{\text{gas}}$  [g/kWh] bzw.  $m_{\text{gas}}$  [g/test] durch  $e_{\text{PM}}$  [g/kWh] bzw.  $m_{\text{PM}}$  [g/test] ersetzt werden:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (7-132)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{PM}}$  = Gesamtmasse der Partikelemission, berechnet gemäß Nummer 3.7.1 [g/test]

$W_{\text{act}}$  = 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  $e_{\text{PM}}$  [g/kWh] ist wie folgt zu berechnen:

##### 4.8.2.2.1. Für das Einfachfilterverfahren mithilfe von Gleichung 7-133:

$$e_{\text{PM}} = \frac{\dot{m}_{\text{PM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-133)$$

Dabei gilt:

$P_i$  = Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$   
(siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$  = Wichtungsfaktor für die Prüfphase  $i$  [-]

$\dot{m}_{\text{PM}}$  = Partikelmassendurchsatz [g/h]

4.8.2.2.2. Für das Mehrfachfilterverfahren mithilfe von Gleichung 7-134:

$$e_{\text{PM}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\dot{m}_{\text{PM}i} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-134)$$

Dabei gilt:

$P_i$  = Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$   
(siehe Anhang VI Nummern 6.3 und 7.7.1.3)

$WF_i$  = Wichtungsfaktor für die Prüfphase  $i$  [-]

$\dot{m}_{\text{PM}i}$  = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase  $i$  [g/h]

Bei der Einfachfiltermethode ist der effektive Wichtungsfaktor  $WF_{\text{effi}}$  für jede Prüfphase mithilfe von Gleichung 7-135 zu berechnen:

$$WF_{\text{effi}} = \frac{m_{\text{smpldexhi}} \cdot \overline{\dot{m}_{\text{eqdexhwet}}}}{m_{\text{smpldex}} \cdot \overline{\dot{m}_{\text{eqdexhweti}}}} \quad (7-135)$$

Dabei gilt:

$m_{\text{smpldexhi}}$  = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase  $i$  durchströmt [kg]

$m_{\text{smpldexh}}$  = Masse der verdünnten Abgasprobe, die die Partikel-Probenahmefilter durchströmt [kg]

$\dot{m}_{\text{eqdexhweti}}$  = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases in der Prüfphase  $i$  [kg/s]

$$\overline{\dot{m}_{\text{eqdexhwet}}} = \text{durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]}$$

Der Wert der effektiven Wichtungsfaktoren darf von den Werten der in Anhang XVII Anlage 1 aufgeführten Wichtungsfaktoren um höchstens  $\pm 0,005$  (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.

#### 3.9.1. Umrechnung der Messungen von Bezugsmesseinrichtungen

Die Kalibriergleichungen in diesem Abschnitt nutzen den Moldurchsatz  $\dot{n}_{\text{ref}}$  als Bezugsgröße. Misst die verwendete Bezugsmesseinrichtung den Durchsatz in einer anderen Messgröße, wie dem Standard-Volumendurchsatz  $\dot{V}_{\text{stdref}}$ , dem tatsächlichen Volumendurchsatz  $\dot{V}_{\text{actref}}$  oder dem Massendurchsatz  $\dot{m}_{\text{ref}}$ , werden die Messwerte der 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:

$$\dot{n}_{\text{ref}} = \frac{\dot{V}_{\text{stdref}} \cdot p_{\text{std}}}{T_{\text{std}} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{\text{actref}} \cdot p_{\text{act}}}{T_{\text{act}} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}}{M_{\text{mix}}} \quad (7-136)$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{ref}}$  = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

$\dot{V}_{\text{stdref}}$  = Bezugsvolumendurchsatz, korrigiert auf einen Standarddruck und eine Standardtemperatur [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\dot{V}_{\text{actref}}$  = Bezugsvolumendurchsatz beim tatsächlichen Druck und der tatsächlichen Temperatur [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\dot{m}_{\text{ref}}$  = Bezugsmassendurchsatz [g/s]

$p_{\text{std}}$  = Standarddruck [Pa]

$p_{\text{act}}$  = tatsächlicher Gasdruck [Pa]

$T_{\text{std}}$  = Standardtemperatur [K]

$T_{\text{act}}$  = tatsächliche Gastemperatur [K]

$$R = \text{molare Gaskonstante } [\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

$$M_{\text{mix}} = \text{Molmasse des Gases } [\text{g/mol}]$$

### 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  $V_{\text{rev}}$  ( $\text{m}^3/\text{rev}$ ):

$$V_{\text{rev}} = \frac{\bar{n}_{\text{ref}} \cdot R \cdot \bar{T}_{\text{in}}}{\bar{p}_{\text{in}} \cdot \bar{f}_{n\text{PDP}}} \quad (7-137)$$

Dabei gilt:

$$\bar{n}_{\text{ref}} = \text{Mittelwert des Bezugsmold durchsatzes } [\text{mol/s}]$$

$$R = \text{molare Gaskonstante } [\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

$$\bar{T}_{\text{in}} = \text{mittlere Eintrittstemperatur } [\text{K}]$$

$$\bar{p}_{\text{in}} = \text{mittlerer Eintrittsdruck } [\text{Pa}]$$

$$\bar{f}_{n\text{PDP}} = \text{mittlere Drehzahl } [\text{rev/s}]$$

- b) Korrekturfaktor für PDP-Verlust  $K_s$  [ $\text{s}/\text{rev}$ ]:

$$K_s = \frac{1}{\bar{f}_{n\text{PDP}}} \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}_{\text{out}} - \bar{p}_{\text{in}}}{\bar{p}_{\text{out}}}} \quad (7-138)$$

Dabei gilt:

$$\bar{n}_{\text{ref}} = \text{mittlerer Bezugsmold durchsatz } [\text{mol/s}]$$

$$\bar{T}_{\text{in}} = \text{mittlere Eintrittstemperatur } [\text{K}]$$

$$\bar{p}_{\text{in}} = \text{mittlerer Eintrittsdruck } [\text{Pa}]$$

$$\bar{p}_{\text{out}} = \text{mittlerer Austrittsdruck } [\text{Pa}]$$

$$\bar{f}_{n\text{PDP}} = \text{mittlere PDP-Drehzahl } [\text{rev/s}]$$

$$R = \text{molare Gaskonstante } [\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

- 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  $V_{\text{rev}}$  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  $\bar{f}_{n\text{PDP}}$ :

*Tabelle 7.4*  
**Beispiel für PDP-Kalibrierdaten**

$\bar{f}_{n\text{PDP}}$ [rev/min]	$\bar{f}_{n\text{PDP}}$ [rev/s]	$a_1$ [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]	$a_1$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$a_0$ [ $\text{m}^3/\text{rev}$ ]
755,0	12,58	50,43	0,8405	0,056
987,6	16,46	49,86	0,831	-0,013
1254,5	20,9	48,54	0,809	0,028
1401,3	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.  $r_{\text{SSV}}$  bezogen auf  $r_{\text{CFV}}$ ). 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, seien 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:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (7-139)$$

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 [ $\text{m}^2$ ]

$p_{in}$  = absoluter statischer Druck am Venturieintritt [Pa]

$Z$  = Kompressibilitätsfaktor [-]

$M_{mix}$  = Molmasse des Gasgemischs [kg/mol]

$R$  = molare Gaskonstante [ $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ]

$T_{in}$  = 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:

$$C_d = \dot{n}_{ref} \cdot \frac{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{in}} \quad (7-140)$$

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**

$\beta$	$C_{fCFV}$ $\gamma_{exh} = 1,385$	$\gamma_{dexh} = \gamma_{air} = 1,399$
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
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:

$$C_f = \left[ \frac{2 \cdot \gamma \cdot \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \cdot \beta^4}{(\gamma-1) \cdot \left( \beta^4 - r^{\frac{-2}{\gamma}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7-141)$$

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:

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{p_{in}} \quad (7-142)$$

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:

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left( \frac{\gamma-1}{2} \right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma+1}{2} \quad (7-143)$$

d) Hinsichtlich der anwendbaren Gleichungen dürfen die folgenden vereinfachenden Annahmen getroffen werden, oder es können nach bestem fachlichen Ermessen zu Prüfzwecken geeigneter Werte entwickelt werden:

i) Für Emissionsprüfungen innerhalb des gesamten Bereichs von Rohabgas, verdünntem Abgas und Verdunnungsluft kann davon ausgegangen werden, dass sich das Gasgemisch wie ein ideales Gas verhält:  $Z = 1$

- 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  $M_{\text{mix}}$  [g/mol] rein als Funktion der Wassermenge  $x_{\text{H}_2\text{O}}$  in der Verdünnungsluft oder Kalibrierluft gemäß Nummer 3.3.2 ermittelt und mithilfe von Gleichung 7-144 berechnet werden:

$$M_{\text{mix}} = M_{\text{air}} \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}}) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}}) \quad (7-144)$$

Dabei gilt:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \text{Wassermenge in der Verdünnungs- oder Kalibrierluft [mol/mol]}$$

- v) Innerhalb des gesamten Bereichs von verdünntem Abgas und Luft kann für alle Kalibrier- und Prüfzwecke von einer konstanten Molmasse des Gemischs  $M_{\text{mix}}$  ausgegangen werden, sofern die angenommene Molmasse um nicht mehr als  $\pm 1\%$  von der geschätzten minimalen und maximalen Molmasse während der Kalibrierung und Prüfung abweicht. Diese Annahme kann getroffen werden, wenn eine ausreichende Kontrolle der Wassermenge in der Kalibrierluft und in der Verdünnungsluft gewährleistet ist oder wenn genug Wasser aus der Kalibrierluft und der Verdünnungsluft abgeschieden wird. Die 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  $M_{\text{mix}}$  angenommen werden kann**

Bei $T_{\text{dew}}$ der Kalibrierluft ( $^{\circ}\text{C}$ ) gleich...	Annahme der folgenden Konstante $M_{\text{mix}}$ (g/mol)	für die nachstehenden Bereiche von $T_{\text{dew}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) während Emissionsprüfungen <sup>a</sup>
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

<sup>a</sup> Bereich gültig für alle Kalibrierungen und Emissionsprüfungen oberhalb des Luftdruckbereichs von 80,000 bis 103,325 kPa.

### 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):

$$Re^\# = \frac{4 \cdot M_{\text{mix}} \cdot \dot{n}_{\text{ref}}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (7-145)$$

Dabei gilt:

$d_t$  = Durchmesser der SSV-Einschnürung [m]

$M_{\text{mix}}$  = Molmasse des Gemischs [kg/mol]

$\dot{n}_{\text{ref}}$  = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

und unter Verwendung des Viskositätsmodells nach Sutherland mit drei Koeffizienten:

$$\mu = \mu_0 \left( \frac{T_{\text{in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left( \frac{T_0 + S}{T_{\text{in}} + S} \right) \quad (7-146)$$

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]
$T_{\text{in}}$	=	absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

*Tabelle 7.7*

**Parameter des Viskositätsmodells nach Sutherland mit drei Koeffizienten**

Gas <sup>a</sup>	$\mu_0$ kg / (m·s)	$T_0$ K	$S$ K	Temperaturbereich innerhalb eines Druckes von 100 kPa	Druckgrenzwert kPa
Luft	$1,716 \times 10^{-5}$	273	111	170 bis 1900	$\leq 1800$
CO <sub>2</sub>	$1,370 \times 10^{-5}$	273	222	190 bis 1700	$\leq 3600$
H <sub>2</sub> O	$1,12 \times 10^{-5}$	350	1 064	360 bis 1500	$\leq 10000$
O <sub>2</sub>	$1,919 \times 10^{-5}$	273	139	190 bis 2000	$\leq 2500$
N <sub>2</sub>	$1,663 \times 10^{-5}$	273	107	100 bis 1500	$\leq 1600$

<sup>a)</sup> Es sind die aufgeführten, nur für reine Gase geltenden Tabellenwerte zu verwenden. Die Parameter dürfen zur Berechnung der Viskosität von Gasgemischen nicht kombiniert werden.

- ii) Eine Gleichung für  $C_d$  bezogen auf  $Re^\#$  ist unter Verwendung von Wertepaaren für  $(Re^\#, C_d)$  zu erstellen.  $C_d$  wird gemäß Gleichung 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

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re^\#}} \quad (7-147)$$

- 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  $SEE < 0,5 \% n_{\text{ref max}}$  (oder  $\dot{m}_{\text{refmax}}$ ) 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:
  - 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;

$$r = 1 - (\Delta p / p_{in}) \quad (7-148)$$

- 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.

## 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 Bezugsnnull- und Justergase sowie auf den Bezugskonzentrationen der Null- und Justergase 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:

- Jede aufgezeichnete Konzentration  $x_i$  ist für die kontinuierliche Probenahme oder für die Stichprobenahme  $\bar{x}$  zu korrigieren;
- Die Driftkorrektur ist mithilfe von Gleichung 7-149 zu berechnen:

$$x_{\text{idriftcor}} = x_{\text{refzero}} + \left( x_{\text{refspan}} - x_{\text{refzero}} \right) \frac{2x_i - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})}{(x_{\text{prespan}} + x_{\text{postspan}}) - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})} \quad (7-149)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{idriftcor}}$	=	driftkorrigierte Konzentration [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_{\text{refzero}}$	=	Bezugswert der Konzentration des Nullgases; in der Regel null, es sei denn, ein anderer Wert ist bekannt [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_{\text{refspan}}$	=	Bezugswert der Konzentration des Justiergases [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_{\text{prespan}}$	=	Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration vor dem Prüfintervall [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_{\text{postspan}}$	=	Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration nach dem Prüfintervall [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_i$ oder $\bar{x}$	=	während der Prüfung vor der Driftkorrektur aufgezeichnete, d. h. gemessene Konzentration [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_{\text{prezero}}$	=	Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration vor dem Prüfintervall [ $\mu\text{mol/mol}$ ]
$x_{\text{postzero}}$	=	Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration nach dem Prüfintervall [ $\mu\text{mol/mol}$ ]

- 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  $x_{\text{prespan}}$  vor dem Prüfintervall nicht aufgezeichnet, ist  $x_{\text{prespan}}$  gleich dem Bezugswert der Konzentration des Justiergases zu setzen:  $x_{\text{prespan}} = x_{\text{refspan}}$ ;
- f) wird das Ansprechverhalten des Analysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration  $x_{\text{prezero}}$  vor dem Prüfintervall nicht aufgezeichnet, ist  $x_{\text{prezero}}$  gleich dem Bezugswert der Konzentration des Nullgases zu setzen:  $x_{\text{prezero}} = x_{\text{refzero}}$ ;
- g) in der Regel beträgt der Bezugswert der Konzentration des Nullgases  $x_{\text{refzero}}$  null:  $x_{\text{refzero}} = 0 \mu\text{mol/mol}$ . In manchen Fällen kann jedoch bekannt sein, dass  $x_{\text{refzero}}$  eine andere Konzentration als null aufweist. Wird beispielsweise ein

CO<sub>2</sub>-Analysator mithilfe von Umgebungsluft genullt, kann die CO<sub>2</sub>-Standardkonzentration von Umgebungsluft, die 375 µmol/mol entspricht, verwendet werden. In diesem Fall gilt:  $x_{refzero} = 375 \mu\text{mol/mol}$ . Wird ein Analysator mithilfe eines Werts  $x_{refzero}$  genullt, der nicht null entspricht, muss der Analysator so eingestellt werden, dass die tatsächliche  $x_{refzero}$ -Konzentration ermittelt wird. Ist beispielsweise  $x_{refzero} = 375 \mu\text{mol/mol}$ , muss der Analysator den Wert 375 µmol/mol ausgeben, wenn das Nullgas in den Analysator geleitet wird.

## 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<sub>2</sub> feststellbar. Dies bildet die Grundlage für eine Überprüfung des Systems anhand von CO<sub>2</sub>-Messungen. Bei Fremdzündungsmotoren ohne Kontrolle des Luftüberschussfaktors  $\lambda$  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.

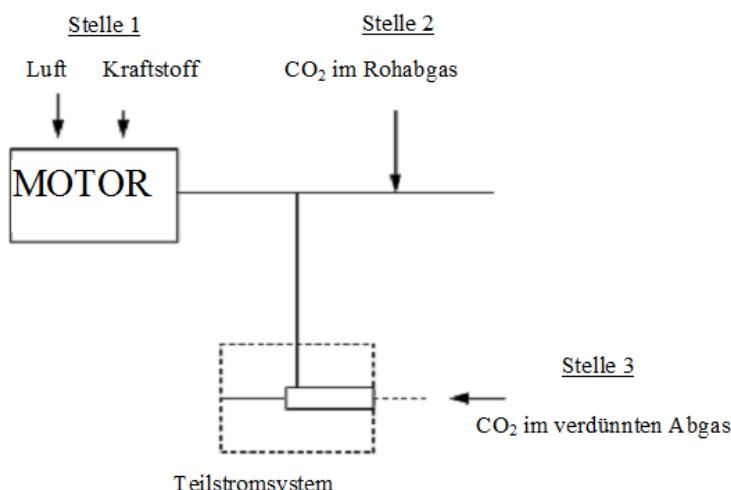
Der Kohlenstoffdurchsatz in die Abgasmesssysteme hinein wird aufgrund des Kraftstoffdurchsatzes ermittelt. An mehreren Probenahmestellen innerhalb der Probenahmesysteme für Emissionen und Partikel wird der Kohlenstoffdurchsatz anhand der Konzentration des CO<sub>2</sub> (oder CO<sub>2</sub>, HC und CO) 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  $\text{CH}_\alpha\text{O}_\epsilon$  ist mithilfe von Gleichung 7-150 zu berechnen:

$$q_{mCf} = \frac{12.011}{12.011 + \alpha + 15.9994 \cdot \epsilon} \cdot q_{mf} \quad (7-150)$$

Dabei gilt:

$$q_{mf} = \text{Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]}$$

## 3. Kohlenstoffdurchsatz im Rohabgas (Stelle 2)

### 3.1. Auf der Grundlage von CO<sub>2</sub>

Der Kohlenstoffmassendurchsatz im Auspuffrohr des Motors  $q_{mCe}$  [kg/s] wird aus der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Rohabgas und dem Massendurchsatz des Abgases mithilfe von Gleichung 7-151 bestimmt.

$$q_{mCe} = \left( \frac{c_{CO2,r} - c_{CO2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12.011}{M_e} \quad (7-151)$$

Dabei gilt:

$$c_{CO2,r} = \text{Konzentration des feuchten CO}_2 \text{ im Rohabgas [%]}$$

$$c_{CO2,a} = \text{Konzentration des feuchten CO}_2 \text{ in der Umgebungsluft [%]}$$

$$q_{mew} = \text{Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]}$$

$$M_e = \text{Molmasse des Abgases [g/mol]}$$

Wird die CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>, HC und CO

Alternativ zur Durchführung der Berechnung ausschließlich auf Grundlage von CO<sub>2</sub> nach Nummer 3.1 wird der Kohlenstoffmassendurchsatz im Auspuffrohr des Motors  $q_{mCe}$  [kg/s] aus der CO<sub>2</sub>-, HC- und CO-Konzentration im Rohabgas und dem Massendurchsatz des Abgases mithilfe von Gleichung 7-152 bestimmt.

$$q_{mce} = \left( \frac{c_{CO_2,r} - c_{CO_2,a}}{100} + \frac{c_{THC(C1),r} - c_{THC(C1),a}}{100} + \frac{c_{CO,r} - c_{CO,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \frac{12.011}{M_e}$$

(7-152)

Dabei gilt:

- $c_{CO_2,r}$  = Konzentration des feuchten CO<sub>2</sub> im Rohabgas [%]
- $c_{CO_2,a}$  = Konzentration des feuchten CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>- 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.

#### 4. Kohlenstoffdurchsatz im Verdünnungssystem (Stelle 3)

##### 4.1. Auf der Grundlage von CO<sub>2</sub>

Bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem ist auch das Teilungsverhältnis zu berücksichtigen. Der Kohlenstoffdurchsatz in einem äquivalenten Verdünnungssystem  $q_{mCp}$  [kg/s] (d. h. einem zu einem Vollstromsystem äquivalenten System, in dem der Gesamtdurchsatz verdünnt wird) wird aus der verdünnten CO<sub>2</sub>-Konzentration, dem Massendurchsatz des Abgases und dem Probendurchsatz bestimmt; mit Ausnahme des Verdünnungsfaktors  $q_{mdew}/q_{mp}$  entspricht die neue Gleichung 7-153 der Gleichung 7-151.

$$q_{mCp} = \left( \frac{c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12.011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}}$$

(7-153)

Dabei gilt:

- $c_{CO_2,d}$  = Konzentration des feuchten CO<sub>2</sub> im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [%]
- $c_{CO_2,a}$  = Konzentration des feuchten CO<sub>2</sub> in der Umgebungsluft [%]

$q_{mdew}$	=	Durchsatz der verdünnten Probe im Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]
$q_{mew}$	=	Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]
$q_{mp}$	=	Abgasprobenstrom in das Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]
$M_e$	=	Molmasse des Abgases [g/mol]

Wird die CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>, HC und CO

Bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem ist auch das Teilungsverhältnis zu berücksichtigen. Alternativ zur Durchführung der Berechnung ausschließlich auf Grundlage von CO<sub>2</sub> nach Nummer 4.1 wird der Kohlenstoffdurchsatz in einem äquivalenten Verdünnungssystem  $q_{mCp}$  [kg/s] (d. h. einem zu einem Vollstromsystem äquivalenten System, in dem der Gesamtdurchsatz verdünnt wird) aus der verdünnten CO<sub>2</sub>-, HC- und CO-Konzentration, dem Massendurchsatz des Abgases und dem Probendurchsatz bestimmt; mit Ausnahme des Verdünnungsfaktors  $q_{mdew}/q_{mp}$  entspricht die neue Gleichung 7-154 der Gleichung 7-152.

$$q_{mCe} = \left( \frac{c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}}{100} + \frac{c_{THC(C1),d} - c_{THC(C1),a}}{100} + \frac{c_{CO,d} - c_{CO,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \frac{12.011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}}$$

(7-154)

Dabei gilt:

$c_{CO_2,d}$	=	Konzentration des feuchten CO <sub>2</sub> im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [%]
$c_{CO_2,a}$	=	Konzentration des feuchten CO <sub>2</sub> in der Umgebungsluft [%]
$c_{THC(C1),d}$	=	THC(C1)-Konzentration im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [%]
$c_{THC(C1),a}$	=	THC(C1)-Konzentration in der Umgebungsluft [%]
$c_{CO,d}$	=	Konzentration des feuchten CO im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [%]
$c_{CO,a}$	=	Konzentration des feuchten CO in der Umgebungsluft [%]

$q_{mdew}$	=	Durchsatz der verdünnten Probe im Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]
$q_{mew}$	=	Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]
$q_{mp}$	=	Probendurchsatz des Abgases in das Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]
$M_e$	=	Molmasse des Abgases [g/mol]

Wird die CO<sub>2</sub>- 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

## Anlage 3

### Statistiken

#### 1. Arithmetisches Mittel

Der arithmetische Mittelwert  $\bar{y}$  ist mithilfe von Gleichung 7-155 zu berechnen:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (7-155)$$

#### 2. Standardabweichung

Die Standardabweichung für eine erwartungstreue (z. B.  $N-1$ ) Probe  $\sigma$  ist mithilfe von Gleichung 7-156 zu berechnen:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} \quad (7-156)$$

#### 3. Quadratischer Mittelwert

Der quadratische Mittelwert  $rms_y$  ist mithilfe von Gleichung 7-157 zu berechnen:

$$rms_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (7-157)$$

#### 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:

$$t = \frac{|\bar{y}_{\text{ref}} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{\text{ref}}^2}{N_{\text{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{N}}} \quad (7-158)$$

$$v = \frac{\left( \frac{\sigma_{\text{ref}}^2}{N_{\text{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{N} \right)^2}{\frac{\left( \sigma_{\text{ref}}^2 / N_{\text{ref}} \right)^2}{N_{\text{ref}} - 1} + \frac{\left( \sigma_y^2 / N \right)^2}{N - 1}} \quad (7-159)$$

- b) Für einen abhängigen  $t$ -Test ist die  $t$ -Statistik und ihre Anzahl von Freiheitsgraden  $\nu$  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  $y_{\text{refi}}$  und  $y_i$  handelt;

$$t = \frac{|\bar{\varepsilon}| \cdot \sqrt{N}}{\sigma_\varepsilon} \quad \nu = N - 1 \quad (7-160)$$

- c) Tabelle 7.8 dient zum Abgleich der Werte  $t$  und  $t_{\text{crit}}$  bezogen auf die Anzahl der Freiheitsgrade. Liegt der Wert  $t$  niedriger als der Wert  $t_{\text{crit}}$ , hat  $t$  dem  $t$ -Test standgehalten.

*Tabelle 7.8*

**Kritische  $t$ -Werte bezogen auf die Anzahl der Freiheitsgrade  $\nu$**

	90 %	Konfidenz	95 %
1	6,314		12,706
2	2,920		4,303
3	2,353		3,182
4	2,132		2,776
5	2,015		2,571
6	1,943		2,447
7	1,895		2,365
8	1,860		2,306
9	1,833		2,262
10	1,812		2,228
11	1,796		2,201
12	1,782		2,179
13	1,771		2,160
14	1,761		2,145
15	1,753		2,131
16	1,746		2,120
18	1,734		2,101
20	1,725		2,086
22	1,717		2,074
24	1,711		2,064
26	1,706		2,056
28	1,701		2,048
30	1,697		2,042
35	1,690		2,030
40	1,684		2,021
50	1,676		2,009
70	1,667		1,994
100	1,660		1,984
1000+	1,645		1,960

Nicht angeführte Werte sind durch lineare Interpolation zu bestimmen.

## 5. F-Test

Die  $F$ -Statistik ist mithilfe von Gleichung 7-161 zu berechnen:

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \quad (7-161)$$

- a) Für einen  $F$ -Test mit einem Konfidenzniveau von 90 % dient Tabelle 7.9 zum Abgleich der Werte  $F$  und  $F_{\text{crit}90}$  bezogen auf  $(N-1)$  und  $(N_{\text{ref}}-1)$ . Liegt der Wert  $F$  niedriger als der Wert  $F_{\text{crit}90}$ , hat  $F$  dem  $F$ -Test mit einem Konfidenzniveau von 90 % standgehalten
- b) Für einen  $F$ -Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % dient Tabelle 7.10 zum Abgleich der Werte  $F$  und  $F_{\text{crit}95}$  bezogen auf  $(N-1)$  und  $(N_{\text{ref}}-1)$ . Liegt der Wert  $F$  niedriger als der Wert  $F_{\text{crit}95}$ , hat  $F$  dem  $F$ -Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % standgehalten



## 6. Steigung

Die Steigung der Regressionsgeraden  $a_{1y}$  ist mithilfe von Gleichung 7-162 zu berechnen:

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cdot (y_{\text{ref}i} - \bar{y}_{\text{ref}})}{\sum_{i=1}^N (y_{\text{ref}i} - \bar{y}_{\text{ref}})^2} \quad (7-162)$$

## 7. Achsabschnitt

Der Achsabschnitt der Regressionsgeraden  $a_{0y}$  ist mithilfe von Gleichung 7-163 zu berechnen:

$$a_{0y} = \bar{y} - (a_{1y} \cdot \bar{y}_{\text{ref}}) \quad (7-163)$$

## 8. Standardfehler des Schätzwerts

Der Standardfehler des Schätzwerts ist mithilfe von Gleichung 7-164 zu berechnen:

$$SEE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{\text{ref}i})]^2}{N-2}} \quad (7-164)$$

## 9. Bestimmungskoeffizient

Der Bestimmungskoeffizient  $r^2$  ist mithilfe von Gleichung 7-165 zu berechnen:

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{\text{ref}i})]^2}{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2} \quad (7-165)$$

## 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:

$$a_g = 9.7803267715 \left[ 1 + 5.2790414 \times 10^{-3} \sin^2 \theta + 2.32718 \times 10^{-5} \sin^4 \theta + 1.262 \times 10^{-7} \sin^6 \theta + 7 \times 10^{-10} \sin^8 \theta \right]$$

(7-166)

Dabei gilt:

$$\theta = \text{Grad nördlicher oder südlicher Breite}$$

## 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:

$$N = \frac{m_{edf}}{1.293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6 \quad (7-167)$$

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.

$\bar{c}_s$  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

$\bar{f}_r$  der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entfernen flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Wobei:

$$\bar{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-168)$$

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

### 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:

$$N = \frac{m_{edf}}{1.293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6 \quad (7-169)$$

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.

$\bar{c}_s$  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

$\bar{f}_r$  der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entfernen flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Wobei:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-170)$$

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:

$$\dot{N} = \frac{q_{medf}}{1.293} \times k \times \bar{c}_s \times \bar{f}_r \times 10^6 \times 3600 \quad (7-171)$$

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

$k$  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.

$\bar{c}_s$  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<sup>3</sup>

$\bar{f}_r$  der Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entfernen flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Dabei gilt:

$$\bar{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-172)$$

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:

$$\dot{N} = \frac{q_{mdew}}{1.293} \times k \times \bar{c}_s \times \bar{f}_r \times 10^6 \times 3600 \quad (7-173)$$

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.

$\bar{c}_s$  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<sup>3</sup>

$\bar{f}_r$  Minderungsfaktor des Mittelwerts der Partikelkonzentration für den Entferner flüchtiger Partikel und die in der Prüfung verwendeten Verdünnungswerte

Wobei:

$$\bar{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-174)$$

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:

$$e = \frac{N}{W_{act}} \quad (7-175)$$

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 ( $k_{ru,m}$  oder  $k_{ru,a}$ ). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärtswirksame Anpassungsfaktor anzuwenden ( $k_{rd,m}$  oder  $k_{rd,a}$ ).

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

$$e = k_r \left( \frac{(0.1 \times N_{cold}) + (0.9 \times N_{hot})}{(0.1 \times W_{act,cold}) + (0.9 \times W_{act,hot})} \right) \quad (7-176)$$

bei additiver Anpassung wegen Regenerierung

$$e = k_r + \left( \frac{(0.1 \times N_{cold}) + (0.9 \times N_{hot})}{(0.1 \times W_{act,cold}) + (0.9 \times W_{act,hot})} \right) \quad (7-177)$$

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:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (\dot{N}_i \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-178)$$

Dabei ist:

$P_i$  die Motorleistung für die Prüfphase  $i$  [kW] mit  $P_i = P_{max,i} + P_{aux,i}$  (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 aufwärts wirkende Anpassungsfaktor anzuwenden ( $k_{ru,m}$  oder  $k_{ru,a}$ ). Fand während der Prüfung eine sporadische Regenerierung statt, so ist der abwärts wirkende 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.

### 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.

## Anlage 6

### Berechnung der Ammoniak-Emissionen

#### 1. Berechnung der mittleren Konzentration für dynamische Prüfzyklen (NRTC und LSI-NRTC) und RMC

Die mittlere NH<sub>3</sub>-Konzentration im Abgas über den Prüfzyklus cNH<sub>3</sub> [ppm] ist durch Integrieren der momentanen Werte über den Zyklus zu bestimmen. Es ist Gleichung 7-179 zu verwenden:

$$c_{\text{NH3}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} c_{\text{NH3},i} \quad (7-179)$$

Dabei ist:

cNH<sub>3,i</sub> die momentane NH<sub>3</sub>-Konzentration im Abgas [ppm]

n die Anzahl der Messungen

Für die NRTC-Prüfung ist das endgültige Prüfergebnis mithilfe von Gleichung 7-180 zu berechnen:

$$c_{\text{NH3}} = (0,1 \times c_{\text{NH3,cold}}) + (0,9 \times c_{\text{NH3,hot}}) \quad (7-180)$$

Dabei ist:

cNH<sub>3,cold</sub> die mittlere NH<sub>3</sub>-Konzentration bei NRTC mit Kaltstart [ppm]

cNH<sub>3,hot</sub> die mittlere NH<sub>3</sub>-Konzentration bei NRTC mit Warmstart [ppm]

#### 2. Berechnung der mittleren Konzentration für Einzelphasen-NRSC-Prüfungen

Die mittlere NH<sub>3</sub>-Konzentration im Abgas über den Prüfzyklus cNH<sub>3</sub> 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:

$$c_{\text{NH3}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} \bar{c}_{\text{NH3},i} \cdot WF_i \quad (7-181)$$

Dabei ist:

$\bar{c}_{\text{NH3},i}$  die durchschnittliche NH<sub>3</sub>-Konzentration im Abgas in der Prüfphase i [ppm]

Nmode die Anzahl der Phasen im Prüfzyklus

WFi der Wichtungsfaktor für die Prüfphase i [-]