

**RICHTLINIE Nr. 16 für die UNTERSUCHUNGSKOMMISSIONEN
nach § 1.07 RheinSchUO**

**Emission von gasförmigen Schadstoffen und
luftverunreinigenden Partikeln - Prüfverfahren**

(Kapitel 8a)

Inhaltsverzeichnis

Teil I

Begriffsbestimmungen, Symbole und Abkürzungen

- 1 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN, SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN
- 2.1 Symbole für die Prüfkennwerte
- 2.2 Symbole für die chemischen Bestandteile
- 2.3 Abkürzungen

Teil II

Prüfverfahren

- 1 EINLEITUNG
- 2 PRÜFBEDINGUNGEN
 - 2.1 Allgemeine Bedingungen
 - 2.2 Bedingungen für die Prüfung des Motors
 - 2.3 Ansaugsystem des Motors
 - 2.4 Motorauspuffanlage
 - 2.5 Kühlsystem
 - 2.6 Schmieröl
 - 2.7 Prüfkraftstoff
 - 2.8 Bestimmung der Einstellungen des Leistungsprüfstands
- 3 DURCHFÜHRUNG DER PRÜFUNG
 - 3.1 Vorbereitung der Probenahmefilter
 - 3.2 Anbringung der Messgeräte
 - 3.3 Inbetriebnahme des Verdünnungssystems und des Motors
 - 3.4 Einstellung des Verdünnungsverhältnisses
 - 3.5 Überprüfung der Analysegeräte
 - 3.6 Prüfzyklen und Wichtungsfaktoren
 - 3.7 Erneute Überprüfung der Analysegeräte

Anlage 1

- MESS- UND PROBENAHMEVERFAHREN
- 1 Leistungsprüfstand
- 2 Abgasdurchsatz
- 3 Messgenauigkeit
- 4 Bestimmung der gasförmigen Bestandteile
- 5 Partikelbestimmung

Anlage 2

- 1 KALIBRIERUNG DER ANALYSEGERÄTE
 - 1.1 Einleitung
 - 1.2 Kalibriergase
 - 1.3 Anwendung der Analyse- und Probenahmegeräte
 - 1.4 Dichtheitsprüfung
 - 1.5 Kalibrierverfahren
 - 1.6 Überprüfung der Kalibrierung
 - 1.7 Prüfung der Wirksamkeit des NO_x-Konverters
 - 1.8 Einstellung des FID
 - 1.9 Querempfindlichkeiten bei NDIR- und CLD-Analysatoren
 - 1.10 Kalibrierintervalle
- 2 KALIBRIERUNG DES PARTIKELMESSYSTEMS
 - 2.1 Einleitung
 - 2.2 Messung des Durchsatzes
 - 2.3 Überprüfung des Verdünnungsverhältnisses
 - 2.4 Überprüfung der Teilstrombedingungen
 - 2.5 Kalibrierintervalle

Anlage 3

- AUSWERTUNG DER MESSWERTE UND BERECHNUNGEN
- 1 Auswertung der Messwerte bei gasförmigen Emissionen
- 2 Partikelemissionen
- 3 Berechnung der gasförmigen Emissionen
- 4 Berechnung der Partikelemission

Teil III

Technischen Daten des Bezugskraftstoffs für die Prüfungen zur Typgenehmigung und die Überprüfung der Übereinstimmung Bezugskraftstoff für Binnenschiffe

Teil IV

Analyse- und Probenahmesystem

- 1 Bestimmung der gasförmigen Emissionen
- 2 Bestimmung der Partikel
 - 2.1 Verdünnungssystem
 - 2.2 Partikel- Probenahmesystem

Teil I

Begriffsbestimmungen, Symbole und Abkürzungen

1 **BEGRIFFSBESTIMMUNGEN**

Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck

- 1.1 "gasförmige Schadstoffe" Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe (ausgedrückt als $C_1:H_{1,85}$) und Stickoxide, letztere ausgedrückt als Stickstoffdioxid-(NO₂)Äquivalent;
- 1.2 "luftverunreinigende Partikel" Stoffe, die bei einer Temperatur von höchstens 325 K (52 °C) nach Verdünnung der Abgase des Dieselmotors mit gefilterter reiner Luft an einem besonderen Filtermedium abgeschieden werden;
- 1.3 "Nennleistung" die Leistung in Kilowatt (kW) nach ISO 3046, abgenommen auf dem Prüfstand am Ende der Kurbelwelle oder einem entsprechenden Bauteil und ermittelt nach dem Verfahren nach ISO 3046 zur Messung der Leistung von Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge nach der Richtlinie 80/1269/EWG⁽¹⁾, wobei jedoch die Leistung des Motorkühlgebläses ausgeschlossen wird⁽²⁾ und die Prüfbedingungen sowie der Bezugskraftstoff der vorliegenden Richtlinie entsprechen;
- 1.4 "Nenn Drehzahl" die vom Regler begrenzte Höchstzahl bei Vollast nach den Angaben des Herstellers;
- 1.5 "Teillastverhältnis" den prozentualen Anteil des höchsten zur Verfügung stehenden Drehmoments bei einer bestimmten Motordrehzahl;
- 1.6 "Drehzahl bei maximalem Drehmoment" die Motordrehzahl, bei der nach Angaben des Herstellers das höchste Drehmoment zur Verfügung steht;
- 1.7 "Zwischendrehzahl" die Motordrehzahl gemäß Teil II Abschnitt 3.6.5 (Prüfzyklus C1) dieser Richtlinie, die eine der folgenden Bedingungen erfüllt:
 - Bei Motoren, die für den Betrieb in einem bestimmten Drehzahlbereich auf einer Vollast-Drehmomentkurve ausgelegt sind, ist die Zwischendrehzahl die angegebene Drehzahl bei maximalem Drehmoment, wenn diese innerhalb eines Bereichs von 60 bis 75 % der Nennzahl liegt.
 - Beträgt die angegebene Drehzahl bei maximalem Drehmoment weniger als 60 % der Nennzahl, so entspricht die Zwischendrehzahl 60 % der Nennzahl.

⁽¹⁾ ABl. L375 vom 31.12.1980, S.46. Richtlinie zuletzt geändert durch die Richtlinie 89/491/EWG (AbI. L238 vom 15.8.1989, S. 43).

⁽²⁾ Dies bedeutet im Gegensatz zu den Anforderungen des Anhangs I Abschnitt 5.1.1.1 der Richtlinie 80/1269/EWG, dass das Motorkühlgebläse während der Prüfung zur Ermittlung der Nennleistung des Motors nicht angebaut sein darf. Führt der Hersteller die Prüfung jedoch mit angebaute Motorkühlgebläse durch, so muss die vom Gebläse aufgenommene Leistung zu der auf diese Weise ermittelten Leistung hinzuaddiert werden.

- Beträgt die angegebene Drehzahl bei maximalem Drehmoment mehr als 75 % der Nenndrehzahl, so entspricht die Zwischendrehzahl 75 % der Nenndrehzahl.
- Bei Motoren, die nicht zum Betrieb über einen Drehzahlbereich auf der Vollast-Drehmomentkurve unter stationären Bedingungen ausgelegt sind, liegt die Zwischendrehzahl normalerweise zwischen 60% und 70% der größten Nenndrehzahl.

2 Symbole und Abkürzungen

2.1 Symbole für die Prüfkennwerte

Symbol	Einheit	Begriff
A_p	m^2	Querschnittsfläche der isokinetischen Probenahmesonde
A_T	m^2	Querschnittsfläche des Auspuffrohrs
aver	m^3/h kg/h	gewichtete Durchschnittswerte für: Volumendurchsatz; Massendurchsatz
C1	-	C1-äquivalenter Kohlenwasserstoff
conc	ppm Vol.-%	Konzentration (mit nachgestellter Bestandteilbezeichnung)
conc _G	ppm Vol.-%	hintergrundkorrigierte Konzentration
conc _d	ppm Vol.-%	Konzentration der Verdünnungsluft
DF	-	Verdünnungsfaktor
f_a	-	atmosphärischer Faktor im Labor
F_{FH}	-	kraftstoffspezifischer Faktor für die Berechnung der Feuchtkonzentrationen anhand des Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnisses der Trockenkonzentrationen
G_{AIRW}	kg/h	Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht
G_{AIRD}	kg/h	Massendurchsatz der Ansaugluft, trocken
G_{DILW}	kg/h	Massendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht
G_{EDFW}	kg/h	äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
G_{EXHW}	kg/h	Massendurchsatz des Abgases, feucht
G_{FUEL}	kg/h	Kraftstoffmassendurchsatz
G_{TOTW}	kg/h	Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
H_{REF}	g/kg	Bezugswert der absoluten Luftfeuchtigkeit 10,71 g/kg bei Berechnung von Feuchtigkeits-korrekturfaktoren für NO_x und Partikel
H_a	g/kg	absolute Feuchtigkeit der Ansaugluft
H_d	g/kg	absolute Feuchtigkeit der Verdünnungsluft
i	-	unterer Index für einen einzelnen Prüfpunkte
K_H	-	Feuchtigkeitskorrekturfaktor für NO_x
K_p	-	Feuchtigkeitskorrekturfaktor für Partikel
$K_{W,a}$	-	Korrekturfaktor für Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand der Ansaugluft
$K_{W,d}$	-	Korrekturfaktor für 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
L	%	prozentuales Drehmoment, bezogen auf das maximale Drehmoment bei Prüfdrehzahl

mass	g/h	unterer Index für den Schadstoffmassendurchsatz
M_{DIL}	kg	Masse der durch die Partikel- Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluftprobe
M_{SAM}	kg	Masse der durch die Partikel- Probenahmefilter geleiteten Probe des verdünnten Abgases
M_d	mg	abgeschiedene Partikel- Probenahmemasse der Verdünnungsluft
M_f	mg	abgeschiedene Partikel- Probenahmemasse
p_a	kPa	Sättigungsdampfdruck der Motoransaugluft (ISO 3046: $P_{sy} =$ PSY Umgebungsdruck bei der Prüfung)
p_B	kPa	barometrischer Druck (ISO 3046: $P_x = P_X$ Umgebungsluftdruck am Aufstellungsort; $P_y = P_Y$ Umgebungsluftdruck bei der Prüfung)
p_d	kPa	Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft
p_s	kPa	trockener atmosphärischer Druck
P	kW	nichtkorrigierte Nennleistung
P_{AE}	kW	angegebene Gesamtleistungsaufnahme durch Hilfseinrichtungen, die für die Prüfung angebracht wurden und nach Teil I Abschnitt 1.3 dieser Richtlinie nicht erforderlich sind
P_M	kW	gemessene Höchstleistung bei Prüfdrehzahl unter Prüfbedingungen (siehe Anlage 1 des Typgenehmigungsbogens)
P_m	kW	bei den verschiedenen Prüfstufen gemessene Leistung
q	-	Verdünnungsverhältnis
r	-	Quotient der Querschnittsflächen der isokinetischen Sonde und des Auspuffrohrs
R_a	%	relative Feuchtigkeit der Ansaugluft
R_d	%	relative Feuchtigkeit der Verdünnungsluft
R_f	-	FID-Ansprechfaktor
S	kW	Einstellwert des Leistungsprüfstands
T_a	K	absolute Temperatur der Ansaugluft
T_D	K	absolute Taupunkttemperatur
T_{ref}	K	Bezugstemperatur (der Verbrennungsluft: 298 K)
T_{SC}	K	Lufttemperatur hinter Ladeluftkühler
T_{SCref}	K	Bezugstemperatur der Lufttemperatur hinter Ladeluftkühler
V_{AIRD}	m ³ /h	Volumendurchsatz der Ansaugluft, trocken
V_{AIRW}	m ³ /h	Volumendurchsatz der Ansaugluft, feucht
V_{DIL}	m ³	Volumen der durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluft
V_{DILW}	m ³ /h	Volumendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht
V_{EDFW}	m ³ /h	äquivalenter Volumendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
V_{EXHD}	m ³ /h	Volumendurchsatz des Abgases, trocken
V_{EXHW}	m ³ /h	Volumendurchsatz des Abgases, feucht
V_{SAM}	m ³	Volumen der Probe durch Partikel-Probenahmefilter
V_{TOTW}	m ³ /h	Volumendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
WF	-	Wichtungsfaktor
WF_E	-	effektiver Wichtungsfaktor

2.2 Symbole für die chemischen Bestandteile

CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
HC	Kohlenwasserstoffe
NO _x	Stickoxide
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
O ₂	Sauerstoff
C ₂ H ₆	Ethan
PT	Partikel
DOP	Diocetylphthalat
CH ₄	Methan
C ₃ H ₈	Propan
H ₂ O	Wasser
PTFE	Polytetrafluorethylen

2.3 Abkürzungen

FID	Flammenionisationsdetektor
HFID	beheizter Flammenionisationsdetektor
NDIR	nichtdispersiver Infrarotabsorptionsanalysator
CLD	Chemilumineszenzdetektor
HCLD	beheizter Chemilumineszenzdetektor
PDP	Verdrängerpumpe
CFV	Venturi-Rohr mit kritischer Strömung

Teil II

Prüfverfahren

1 EINLEITUNG

- 1.1 In dieser Richtlinie wird das Verfahren zur Messung der gasförmigen Schadstoffe und luftverunreinigenden Partikel aus den zu prüfenden Motoren beschrieben.
- 1.2 Für die Typprüfung ist der Motor auf einem Prüfstand aufzubauen und an einer Leistungsbremse anzuschließen.
- 1.3 Ist im Rahmen einer Einbau- oder einer Zwischenprüfung die Messung der gasförmigen Schadstoffe und luftverunreinigenden Partikel aus den zu prüfenden Motoren notwendig, sind die nachfolgenden Bestimmungen sinngemäß anzuwenden.
- 1.4 Ergeben sich Zweifel hinsichtlich der Anforderungen dieser Richtlinie, sind die Anforderungen der harmonisierten Normen EN ISO 8178 zu beachten.

2 PRÜFBEDINGUNGEN

2.1 Allgemeine Bedingungen

Das Volumen und der Volumendurchsatz sind stets bezogen auf 273 K (0 °C) und 101,3 kPa anzugeben.

2.2 Bedingungen für die Prüfung des Motors

2.2.1 Atmosphärischer Faktor

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

Bei Saugmotoren und mechanisch aufgeladenen Motoren:

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

Bei turbo-aufgeladenen Motoren mit oder ohne Ladeluftkühlung:

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

2.2.2 Gültigkeit der Prüfung

Eine Prüfung ist als gültig anzusehen bei f_a : $0,98 \leq f_a \leq 1,02$

Falls es aus zwingenden technischen Gründen nicht möglich ist, diese Grenzen einzuhalten, muss f_a zwischen 0,93 und 1,07 liegen. In diesem Fall muss die Partikelemission nach EN ISO 8178-1 korrigiert werden. Für die gasförmigen Emissionen ist eine Korrektur nicht nötig.

2.2.3 *Motoren mit Ladeluftkühlung*

2.2.3.1 Die Temperatur des Kühlmittels und die Temperatur der Ladeluft sind aufzuzeichnen. Das Kühlsystem muss bei der Drehzahl und der Belastung des Motors, die für die Prüfzyklen vorgesehen sind, eingestellt werden. Die Ladelufttemperatur und der Druckabfall im Kühler dürfen höchstens ± 4 K und ± 2 kPa von den Angaben des Motorherstellers abweichen.

2.2.3.2 Der zu prüfende Motor muss mit der für den Verwendungszweck vorgesehenen Ausrüstung, bei einer Rohwassertemperatur von 25°C innerhalb der zulässigen Emissionsgrenzwerte betrieben werden können. Eine weitere Erhöhung der Wassertemperatur durch die an Bord installierten Wärmetauscher, z.B. für das Kühlwassersystem, muss ebenfalls berücksichtigt werden.

2.2.4 *Abweichungen*

Die zuständigen Behörden können Abweichungen von den vorgenannten Bedingungen für die Prüfung des Motors zulassen.

2.3 **Ansaugsystem des Motors**

Der zu prüfende Motor muss mit einem Ansaugsystem versehen sein, dessen Ansaugunterdruck innerhalb der vom Hersteller angegebenen Obergrenze für einen sauberen Luftfilter bei dem Betriebszustand des Motors liegt, bei dem sich nach Angaben des Herstellers der größte Luftdurchsatz ergibt. Eine Prüfstandanlage kann verwendet werden, wenn sie die tatsächlichen Motorbetriebsbedingungen wiedergibt.

2.4 **Motorauspuffanlage**

Der zu prüfende Motor muss mit einer Auspuffanlage versehen sein, deren Abgasgegendruck der vom Hersteller angegebenen Obergrenze bei den Motorbetriebsbedingungen entspricht, die zur angegebenen Höchstleistung führen.

2.5 **Kühlsystem**

Der zu prüfende Motor muss mit einem Motorkühlsystem versehen sein, das es ermöglicht, die vom Hersteller vorgegebenen normalen Betriebstemperaturen des Motors aufrechtzuerhalten.

2.6 **Schmieröl**

Die Kenndaten des zur Prüfung verwendeten Schmieröles sind aufzuzeichnen und zusammen mit den Prüfergebnissen vorzulegen.

2.7 **Prüfkraftstoff**

2.7.1 Es ist der in Teil III dieser Richtlinie beschriebene Bezugskraftstoff zu verwenden.

2.7.2 Die zuständige Behörde kann abweichend von 2.7.1 die Verwendung eines handelsüblichen Kraftstoffes zulassen. Der Kraftstoff muss den Anforderungen der harmonisierten Normen EN 590 genügen. Die Einhaltung dieser Anforderungen ist nachzuweisen.

2.7.3 Die Cetanzahl und der Schwefelgehalt des für die Prüfung verwendeten Bezugskraftstoffes sind aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind der Beschreibungsmappe beizufügen.

2.7.4 Die Kraftstofftemperatur am Einlass der Einspritzpumpe muss den Vorgaben des Herstellers entsprechen und in der Beschreibungsmappe angegeben sein.

2.8 Bestimmung der Einstellungen des Leistungsprüfstands

Der Ansaugunterdruck und der Abgasgedruck sind entsprechend den Abschnitten 2.3 und 2.4 auf die vom Hersteller angegebenen Obergrenzen einzustellen.

Die maximalen Drehmomentwerte sind bei den vorgegebenen Prüfdrehzahlen durch Messung zu ermitteln, um die Drehmomentwerte für die vorgeschriebenen Prüfstufen berechnen zu können. Bei Motoren, die nicht für den Betrieb über einen bestimmten Drehzahlbereich auf der Vollast-Drehmomentkurve ausgelegt sind, ist das maximale Drehmoment bei den jeweiligen Prüfdrehzahlen vom Hersteller anzugeben.

Die Motoreinstellung für jede Prüfstufe ist nach folgender Formel zu berechnen:

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

Bei einem Verhältnis von

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

kann der Wert von P_{AE} durch die zuständige Behörde überprüft werden, die die Typgenehmigung erteilt.

3 DURCHFÜHRUNG DER PRÜFUNG

3.1 Vorbereitung der Probenahmefilter

Wenigstens eine Stunde vor der Prüfung ist jedes einzelne Filter(paar) in einer verschlossenen, aber nicht abgedichteten Petrischale zur Stabilisierung in eine Wägekammer zu bringen. Nach der Stabilisierungsphase ist jedes Filter(paar) zu wägen und das Taragewicht aufzuzeichnen. Dann ist das Filter(paar) in einer verschlossenen Petrischale oder einem verschlossenen Filterhalter bis zur Verwendung aufzubewahren. Wird das Filter(paar) nicht binnen acht Stunden nach seiner Entnahme aus der Wägekammer verwendet, so muss es vor seiner Verwendung erneut gewogen werden. Die Lagerzeit bis zur Verwendung der Filter kann entsprechend den Anforderungen der Anlage 3 Abschnitt 2 verlängert werden.

3.2 Anbringung der Messgeräte

Die Geräte und die Probenahmesonden sind wie im Teil IV vorgeschrieben anzubringen. Wird zur Verdünnung der Auspuffgase ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, so ist das Abgasrohr an das System anzuschließen.

3.3 Inbetriebnahme des Verdünnungssystems und des Motors

Das Verdünnungssystem ist zu starten und der Motor anzulassen, bis alle Temperaturen und Drücke bei Vollast und Nenndrehzahl stabil sind (Abschnitt 3.6.7).

3.4 Einstellung des Verdünnungsverhältnisses

Das Partikel- Probenahmesystem ist zu starten und bei Anwendung der Einfachfiltermethode auf Bypass zu betreiben (bei der Mehrfachfiltermethode wahlfrei). Der Partikelhintergrund der Verdünnungsluft kann bestimmt werden, indem Verdünnungsluft durch die Partikelfilter geleitet wird. Bei Verwendung gefilterter Verdünnungsluft kann eine Messung zu einem beliebigen Zeitpunkt vor, während oder nach der Prüfung erfolgen. Wird die Verdünnungsluft nicht gefiltert, so sind Messungen zu mindestens drei Zeitpunkten (nach dem Start, vor dem Anhalten und nahe der Zyklusmitte) vorzunehmen und die Durchschnittswerte zu ermitteln.

Die Verdünnungsluft ist so einzustellen, dass die maximale Filteroberflächentemperatur bei jedem Messpunkt 325 K (52 °C) oder weniger beträgt. Das Gesamtverdünnungsverhältnis darf

nicht weniger als vier betragen.

Bei der Einfachfiltermethode in Vollstromsystemen muss der Probemassendurchsatz durch den Filter bei allen Prüfstufen in einem konstanten Verhältnis zum Massendurchsatz des verdünnten Abgases stehen. Dieses Masseverhältnis muss - mit Ausnahme der ersten 10 Sekunden jeder Prüfstufe bei Systemen ohne Bypassmöglichkeit - mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ eingehalten werden. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Einfachfiltermethode muss der Massendurchsatz durch den Filter - mit Ausnahme der ersten 10 Sekunden jeder Prüfstufe bei Systemen ohne Bypassmöglichkeit - bei jeder Prüfstufe mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ konstant gehalten werden.

Bei CO₂- oder NO_x-konzentrationsgeregelten Systemen ist der CO₂- bzw. NO_x-Gehalt der Verdünnungsluft zu Beginn und Ende jeder Prüfung zu messen. Die vor der Prüfung gemessene CO₂- bzw. NO_x-Hintergrundkonzentration der Verdünnungsluft darf von der nach der Prüfung gemessenen Konzentration um höchstens 100 ppm bzw. 5 ppm abweichen.

Bei Verwendung eines mit verdünntem Abgas arbeitenden Analysesystems sind die jeweiligen Hintergrundkonzentrationen zu bestimmen, indem über die gesamte Prüffolge hinweg Verdünnungsluftproben in einen Probenahmebeutel geleitet werden.

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

Andere Methoden zur Einstellung und Überprüfung des Verdünnungsverhältnisses, die dem Stand der Technik entsprechen, können nach Abstimmung mit der zuständigen Behörde ebenfalls angewendet werden.

3.5 Überprüfung der Analysegeräte

Die Geräte für die Emissionsanalyse sind auf Null und den Messbereich zu justieren.

3.6 Prüfzyklen und Wichtungsfaktoren

3.6.1 Für jeden Motortyp und für jeden Stamm-Motor einer Motorenfamilie oder Motorengruppe ist einer der in Abschnitt 3.6.2 bis 3.6.5 festgelegten Prüfzyklen anzuwenden, um die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte festzustellen.

3.6.2 Für Schiffsmotoren mit konstanter Drehzahl, die für den Schiffshauptantrieb verwendet werden, einschließlich dieselektrischem Antrieb, sowie für Anlagen mit Verstellpropeller ist Prüfzyklus E2 gemäß Tabelle 1 anzuwenden.

Tabelle 1 Prüfzyklus für "Schiffshauptantrieb mit konstanter Drehzahl" (einschließlich Anlagen mit dieselektrischem Antrieb und Verstellpropeller)

Prüfzyklus E2	Drehzahl	100 %	100 %	100 %	100 %
	Drehmoment	100 %	75 %	50 %	25 %
	Wichtungsfaktor	0,2	0,5	0,15	0,15

- 3.6.3 Für Schiffshauptantriebe und Schiffshilfsantriebe, die nach dem Propellergesetz betrieben werden, ist Prüfzyklus E3 gemäß Tabelle 2 anzuwenden.

Tabelle 2 Prüfzyklus für "Schiffshauptantriebe mit Propellercharakteristik und Schiffshilfsantriebe mit Propellercharakteristik"

Prüfzyklus E3	Drehzahl	100 %	91 %	80 %	63 %
	Leistung	100 %	75 %	50 %	25 %
	Wichtungsfaktor	0,2	0,5	0,15	0,15

- 3.6.4 Für Hilfsmotoren mit konstanter Drehzahl ist Prüfzyklus D2 gemäß Tabelle 3 anzuwenden.

Tabelle 3 Prüfzyklus für "Hilfsmotoren mit konstanter Drehzahl"

Prüfzyklus D2	Drehzahl	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Drehmoment	100 %	75 %	50 %	25 %	10 %
	Wichtungsfaktor	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1

- 3.6.5 Für Hilfsmotoren mit variabler Drehzahl und variabler Last, die nicht in obige Kategorie fallen, ist Prüfzyklus C1 gemäß Tabelle 4 anzuwenden.

Tabelle 4 Prüfzyklus für "Hilfsmotoren mit variabler Drehzahl und variabler Last"

Prüfzyklus C1	Drehzahl	Nenndrehzahl				Zwischendrehzahl			Leerlauf
	Drehmoment	100 %	75 %	50 %	10 %	100 %	75 %	50 %	0 %
	Wichtungsfaktor	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

- 3.6.5.1 Die Drehmomentwerte von Prüfzyklus C1 sind Prozentwerte, die für die vorgegebene Drehzahl das Verhältnis des zu fahrenden Drehmoments zu dem max. Drehmoment für den entsprechenden Lastpunkt angeben.
- 3.6.5.2 Die Zwischendrehzahl für Prüfzyklus C1 ist vom Hersteller gemäß Teil I Abschnitt 1.7 dieser Richtlinie anzugeben.
- 3.6.6 Wenn ein Hersteller eine neue Prüfzyklusanwendung für einen Motor, für den bereits aufgrund eines anderen in Abschnitt 3.6.2 bis 3.6.5 festgelegten Prüfzyklus eine Typgenehmigung erteilt wurde, beantragt, kann die zuständige Behörde davon absehen, für die neue Anwendung das gesamte Zertifizierungsverfahren durchzuführen. In diesem Fall kann der Hersteller die Konformität durch eine Neuberechnung demonstrieren, wobei die Messergebnisse der Prüfstufen der ersten Typgenehmigung mit den Gewichtungsfaktoren des neuen Prüfzyklus zur Berechnung der gewichteten Gesamtemissionen der neuen Prüfzyklusanwendung verwendet werden können.

3.6.7 *Konditionierung des Motors*

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

Anmerkung: Durch die Konditionierungszeit soll auch der Einfluss von Ablagerungen in der Auspuffanlage, die aus einer früheren Prüfung stammen, verhindert werden. Ferner ist zwischen den Prüfstufen eine Stabilisierungsperiode vorgeschrieben, die der weitestgehenden Ausschaltung einer gegenseitigen Beeinflussung bei den einzelnen Prüfstufen dient.

3.6.8 *Prüffolge*

Die Prüfung ist entsprechend der in den Tabellen 1 - 4 angegebenen Reihenfolge der Prüfstufen der Prüfzyklen durchzuführen.

Nach der einleitenden Übergangsperiode muss bei jeder Stufe des Prüfzyklus die vorgeschriebene Drehzahl innerhalb des höheren Wertes von entweder $\pm 1\%$ der Nenndrehzahl oder $\pm 3 \text{ min}^{-1}$ gehalten werden; dies gilt nicht für die untere Leerlaufdrehzahl, bei der die vom Hersteller angegebenen Toleranzen einzuhalten sind. Das angegebene Drehmoment ist so zu halten, dass der Durchschnitt für den Zeitraum der Messungen mit einer Toleranz von $\pm 2\%$ dem maximalen Drehmoment bei der Prüfdrehzahl entspricht.

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

Die Dauer der Prüfstufen ist aufzuzeichnen und anzugeben.

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

Die Partikelentnahme und Messung der gasförmigen Emissionen sollten nicht vor Eintritt der Motorstabilisierung gemäß den Anweisungen des Herstellers erfolgen und müssen gleichzeitig beendet werden.

Die Kraftstofftemperatur muss am Einlass der Kraftstoffeinspritzpumpe oder nach Vorschrift des Herstellers gemessen werden. Die Stelle der Messung ist aufzuzeichnen.

3.6.9 *Ausgangssignal der Analysegeräte*

Das Ausgangssignal der Analytoren ist auf einem Linienschreiber oder mit einem gleichwertigen Datenerfassungssystem aufzuzeichnen, wobei das Abgas mindestens während der letzten drei Minuten jeder Prüfstufe durch die Analytoren strömen muss. Wird für die Messung des verdünnten CO und CO₂ ein Probenahmebeutel verwendet (siehe Anlage 1 Abschnitt 4.4), so ist die Probe während der letzten drei Minuten jeder Prüfstufe in den Beutel zu leiten. Die Beutelprobe ist zu analysieren und das Ergebnis aufzuzeichnen.

3.6.10 *Partikel-Probenahme*

Die Partikel-Probenahme kann nach der Einfachfiltermethode oder nach der Mehrfachfiltermethode erfolgen (Anlage 1 Abschnitt 5). Da die Ergebnisse bei diesen Methoden leichte Abweichungen aufweisen können, muss zusammen mit den Ergebnissen auch die verwendete Methode angegeben werden.

Bei der Anwendung der Einfachfiltermethode müssen die der jeweiligen Prüfstufe des Prüfzyklus zugeordneten Wichtungsfaktoren bei der Probenahme berücksichtigt werden, indem der Probendurchsatz und/oder die Probenahmezeit entsprechend eingestellt werden/wird.

Die Probenahme muss bei jeder Prüfstufe so spät wie möglich erfolgen. Die Probenahme je Prüfstufe muss bei der Einfachfiltermethode mindestens 20 Sekunden und bei der Mehrfachfiltermethode mindestens 60 Sekunden dauern. Bei Systemen ohne Bypassmöglichkeit muss die Probenahme je Prüfstufe bei Einfach- und Mehrfachfiltermethode mindestens 60 Sekunden dauern.

3.6.11 *Motorbedingungen*

Motordrehzahl und Last, Ansauglufttemperatur, Kraftstoffdurchsatz und Luft- oder Abgasdurchsatz sind nach Stabilisierung des Motors bei jeder Prüfstufe zu messen.

Ist die Messung des Abgasdurchsatzes oder die Messung der Verbrennungsluft und des Kraftstoffverbrauchs nicht möglich, so kann eine Berechnung nach der Kohlenstoff- und Sauerstoffbilanzmethode vorgenommen werden (siehe EN ISO 8178 – 1 Anhang 1).

Alle zusätzlich für die Berechnung erforderlichen Daten sind aufzuzeichnen (siehe Anlage 3 Abschnitte 1 und 2).

3.7 **Erneute Überprüfung der Analysegeräte**

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

MESS- UND PROBEHAHMEVERFAHREN

Die gasförmigen und partikelförmigen Bestandteile der Emissionen des zur Prüfung vorgeführten Motors sind mit den in Teil IV beschriebenen Methoden zu messen. Die Beschreibung dieser Methoden umfasst auch eine Darstellung der empfohlenen analytischen Systeme für die gasförmigen Emissionen (Teil IV Abschnitt 1) und der empfohlenen Partikelverdünnungs- und -probenahmesysteme (Teil IV Abschnitt 2).

1 Leistungsprüfstand

Es ist ein Motorprüfstand zu verwenden, der entsprechende Eigenschaften aufweist, um die in Teil II Abschnitt 3.6 beschriebenen Prüfzyklen durchzuführen. Die Messgeräte für Drehmoment und Drehzahl müssen die Messung der Nettoleistung innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte ermöglichen. Es können zusätzliche Berechnungen erforderlich sein.

Die Messgeräte müssen eine solche Messgenauigkeit aufweisen, dass die Höchsttoleranzen der in Abschnitt 3 angegebenen Werte nicht überschritten werden.

2 Abgasdurchsatz

Der Abgasdurchsatz ist nach einer der in den Abschnitten 2.1 bis 2.4 genannten Methoden zu ermitteln.

2.1 Direkte Messung

Direkte Messung des Abgasdurchsatzes durch eine Durchflusssdüse oder ein gleichwertiges Messsystem (Einzelheiten siehe ISO 5167).

Anmerkung: Die direkte Messung des Gasdurchsatzes ist ein kompliziertes Verfahren. Es müssen Vorkehrungen zur Vermeidung von Messfehlern getroffen werden, die Auswirkungen auf die Emissionswertfehler haben.

2.2 Luft- und Kraftstoffmessung

Messung des Luftdurchsatzes und des Kraftstoffdurchsatzes.

Die verwendeten Geräte zur Messung des Luft- und Kraftstoffdurchsatzes müssen die in Abschnitt 3 angegebene Messgenauigkeit aufweisen.

Die Berechnung des Abgasdurchsatzes wird wie folgt vorgenommen:

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

oder

$$V_{EXHD} = V_{AIRD} - 0,766 \times G_{FUEL} \text{ (für trockenes Abgasvolumen)}$$

oder

$$V_{EXHW} = V_{AIRW} + 0,746 \times G_{FUEL} \text{ (für feuchtes Abgasvolumen)}$$

2.3 Kohlenstoffbilanzmethode

Berechnung der Abgasmasse auf der Grundlage des Kraftstoffverbrauchs und der Abgaskonzentrationen nach der Kohlenstoffbilanzmethode (siehe Teil II Anlage 3).

2.4 Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases

Bei Verwendung eines Vollstrom-Verdünnungssystems muss der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases (G_{TOTW} , V_{TOTW}) mit einer PDP oder einem CFV gemessen werden (Teil IV Abschnitt 2.1.2). Die Messgenauigkeit muss den Bestimmungen von Teil II Anlage 2 Abschnitt 2.2 entsprechen.

3 Messgenauigkeit

Die Kalibrierung aller Messgeräte muss nachweisbar auf nationale oder internationale Normen zurückzuführen sein und folgenden Anforderungen entsprechen:

Lfd. Nummer	Kennwert	Zulässige Abweichung (± Werte beruhen auf Höchstwerten des Motors)	Zulässige Abweichung (± Werte nach ISO 3046)	Kalibrierungs- abstände (Monate)
1	Motordrehzahl	2 %	2 %	3
2	Drehmoment	2 %	2 %	3
3	Leistung	2 % ⁽¹⁾	3 %	entfällt
4	Kraftstoffverbrauch	2 % ⁽¹⁾	3 %	6
5	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	entfällt	3 %	entfällt
6	Luftdurchsatz	2 % ⁽¹⁾	5 %	6
7	Abgasdurchsatz	4 % ⁽¹⁾	entfällt	6
8	Kühlmitteltemperatur	2 K	2 K	3
9	Schmiermitteltemperatur	2 K	2 K	3
10	Abgasgegendruck	5 % des Höchstwertes	5 %	3
11	Unterdruck im Einlasskrümmer	5 % des Höchstwertes	5 %	3
12	Abgastemperatur	15 K	15 K	3
13	Luft Eintrittstemperatur (Verbrennungsluft)	2 K	2 K	3
14	Atmosphärischer Druck	0,5 % des Ablesewerts	0,5 %	3
15	Feuchtigkeit der Ansaugluft (relativ)	3 %	entfällt	1
16	Kraftstofftemperatur	2 K	5 K	3
17	Verdünnungstunnel- temperaturen	1,5 K	entfällt	3
18	Feuchtigkeit der Verdünnungsluft	3 %	entfällt	1
19	Durchsatz des verdünnten Abgases	2 % des Ablesewerts	entfällt	24 (Teilstrom) (Vollstrom) ⁽²⁾

⁽¹⁾ Die Berechnung der gasförmigen Emissionen nach dieser Richtlinie basieren teilweise auf unterschiedlichen Mess- und/oder Berechnungsmethoden. Aufgrund der angegebenen Gesamttoleranzen für die Berechnung der Abgasemission müssen die zulässigen Werte für einige Kennwerte bei Anwendung in den entsprechenden Gleichungen geringer sein als die in ISO 3046-3 angegebenen zulässigen Toleranzen.

⁽²⁾ Vollstromsysteme - Die CVS-Verdrängerpumpe oder das Venturi-Rohr mit kritischer Strömung sind nach der Anbringung, nach wesentlichen Wartungsarbeiten oder nach Feststellung eines entsprechenden Bedarfs bei der in Teil IV beschriebenen Überprüfung des CVS-Systems zu kalibrieren.

4 Bestimmung der gasförmigen Bestandteile

4.1 Allgemeine Anforderungen an Analysegeräte

Die Analysegeräte müssen einen Messbereich haben, der den Anforderungen an die Genauigkeit bei der Messung der Konzentrationen der Abgasbestandteile entspricht (Abschnitt 4.1.1). Es wird empfohlen, die Analysegeräte so zu bedienen, dass die gemessene Konzentration zwischen 15 % und 100 % des vollen Skalenendwertes liegt.

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

Die elektromagnetische Verträglichkeit der Geräte muss auf einem Niveau sein, das zusätzliche Fehler weitestgehend verhindert.

4.1.1 Messfehler

Der gesamte Messfehler einschließlich der Querempfindlichkeit gegenüber anderen Gasen - siehe Anlage 2 Abschnitt 1.9 - darf den jeweils geringeren Wert von entweder $\pm 5\%$ des Ablesewerts oder $3,5\%$ des vollen Skalenendwertes nicht überschreiten. Bei Konzentrationen unter 100 ppm darf der Messfehler ± 4 ppm nicht überschreiten.

4.1.2 Wiederholbarkeit

Die Wiederholbarkeit, definiert als das 2,5fache der Standardabweichung zehn wiederholter Ansprechreaktionen auf ein bestimmtes Kalibriergas, darf höchstens $\pm 1\%$ der vollen Skalenendkonzentration für jeden verwendeten Messbereich über 155 ppm (oder ppm C) oder $\pm 2\%$ für jeden verwendeten Messbereich unter 155 ppm (oder ppm C) betragen.

4.1.3 Rauschen

Das Peak-to-Peak-Ansprechen der Analysatoren auf Null- und Kalibriergase darf während eines Zeitraums von zehn Sekunden 2% des vollen Skalenendwertes bei allen verwendeten Bereichen nicht überschreiten.

4.1.4 Nullpunktdrift

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

4.1.5 Messbereichsdrift

Die Messbereichsdrift während eines Zeitraums von einer Stunde muss weniger als 2% des vollen Skalenendwertes beim niedrigsten verwendeten Bereich betragen. Als Messbereich wird die Differenz zwischen Kalibrierausschlag und Nullpunktwert definiert. Der Meßbereichkalibrierausschlag wird definiert als mittlerer Ausschlag (einschließlich Rauschen) auf ein Meßbereichskalibriergas in einem Zeitabschnitt von 30 Sekunden.

4.2 *Gastrocknung*

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

4.3 *Analysegeräte*

Die bei der Messung anzuwendenden Grundsätze werden in den Abschnitten 4.3.1 bis 4.3.5 dieser Anlage beschrieben. Eine ausführliche Darstellung der Messsysteme ist in Teil IV enthalten.

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

4.3.1 Kohlenmonoxid-(CO-)Analyse

Der Kohlenmonoxidanalysator muss ein nichtdispersiver Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) sein.

4.3.2 Kohlendioxid-(CO₂-)Analyse

Der Kohlendioxidanalysator muss ein nichtdispersiver Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) sein.

4.3.3 Kohlenwasserstoff f-(HC-)Analyse

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

4.3.4 Stickoxid-(NO_x-)Analyse

Der Stickoxidanalysator muss ein Chemilumineszenzanalysator (CLD) oder beheizter Chemilumineszenzanalysator (HCLD) mit einem NO₂/NO-Konverter sein, wenn die Messung im trockenen Bezugszustand erfolgt. Bei Messung im feuchten Bezugszustand ist ein auf über 333 K (60 °C) gehaltener HCLD mit Konverter zu verwenden, vorausgesetzt, die Prüfung auf Wasserdampferempfindlichkeit (Anlage 2 Abschnitt 1.9.2.2) ist erfüllt.

4.4 *Probenahme von Emissionen gasförmiger Schadstoffe*

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

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

Wird die Zusammensetzung des Abgases durch eine Anlage zur Abgasnachbehandlung beeinflusst, so muss die Abgasprobe bei Prüfungen der Stufe I vor dieser Anlage und bei Prüfungen der Stufe II hinter dieser Anlage entnommen werden. Bei Verwendung eines Vollstrom-Verdünnungssystems für die Partikelbestimmung können die gasförmigen Emissionen auch im verdünnten Abgas bestimmt werden. Die Probenahmesonden müssen sich nahe der Partikel-Probenahmesonde im Verdünnungstunnel befinden (Teil IV Abschnitt 2.1.2 für DT, Abschnitt 2.2 für PSP). CO und CO₂ können wahlweise auch durch Probenahme in einen Beutel und nachfolgende Messung der Konzentration im Probenahmebeutel bestimmt werden.

5 Partikelbestimmung

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

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen muss die Partikel-Probenahmesonde in der Nähe und (gegen den Strom gerichtet) oberhalb der Sonde für die gasförmigen Emissionen nach Abschnitt 4.4 sowie entsprechend Teil IV Abschnitt 2.1.1, Abbildungen 4 bis 12 (EP und SP), angebracht sein.

Das Teilstrom-Verdünnungssystem muss so beschaffen sein, dass eine Teilung des Abgasstroms erfolgt, wobei der kleinere Teil mit Luft verdünnt und anschließend zur Partikelmessung verwendet wird. Demzufolge ist eine sehr genaue Bestimmung des Verdünnungsverhältnisses erforderlich. Es können verschiedene Teilungsmethoden verwendet werden, wobei die Art der Teilung wesentlichen Einfluss auf die zu verwendenden Probenahmegeräte und -verfahren hat (Teil IV Abschnitt 2.1.1).

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

Die Partikel-Probenahme kann nach zwei Methoden erfolgen:

- *Bei der Einzelfiltermethode* wird für alle Prüfstufen des Prüfzyklus ein Filterpaar verwendet (siehe Abschnitt 5.1.3). Während der Probenahmephase der Prüfung muss stark auf die Sammelzeiten und die Durchsätze geachtet werden. Andererseits wird je Prüfzyklus nur ein Filterpaar benötigt.
- *Bei der Mehrfachfiltermethode* muss für jede einzelne Prüfstufe des Prüfzyklus ein eigenes Filterpaar verwendet werden (siehe Abschnitt 5.1.3). Diese Methode gestattet ein weniger strenges Probenahmeverfahren, doch werden mehr Filter verbraucht.

5.1 *Partikel-Probenahmefilter*

5.1.1 Spezifikation der Filter

Für die Zertifizierungsprüfungen werden fluorkohlenstoffbeschichtete Glasfaserfilter oder Fluorkohlenstoffmembranfilter benötigt. Für besondere Anwendungen können andere Filtermaterialien verwendet werden. Bei allen Filtertypen muss der Abscheidegrad von 0,3 µm DOP (Dioctylphthalat) bei einer Anströmgeschwindigkeit des Gases zwischen 35 und 80 cm/s mindestens 95 % betragen. Werden Korrelationstests zwischen Prüfstellen oder zwischen einem Hersteller und einer Genehmigungsbehörde durchgeführt, so sind Filter von gleicher Qualität zu verwenden.

5.1.2 Filtergröße

Die Partikelfilter müssen einen Mindestdurchmesser von 47 mm haben (37 mm wirksamer Durchmesser). Filter mit größerem Durchmesser sind zulässig (Abschnitt 5.1.5).

5.1.3 Haupt- und Nachfilter

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

5.1.4 Filteranströmgeschwindigkeit

Eine Gasanströmgeschwindigkeit durch den Filter von 35 bis 80 cm/s muss erreicht werden. Der Druckabfall darf zwischen Beginn und Ende der Prüfung um nicht mehr als 25 kPa zunehmen.

5.1.5 Filterbeladung

Bei der Einfachfiltermethode beträgt die empfohlene minimale Filterbeladung 0,5 mg/1 075 mm² wirksamer Filterbereich. Für die gebräuchlichsten Filtergrößen ergeben sich folgende Werte:

Filterdurchmesser (mm)	Empfohlener Durchmesser des wirksamen Filterbereichs (mm)	Empfohlene minimale Filterbeladung (mg)
47	37	0,5
70	60	1,3
90	80	2,3
110	100	3,6

Bei der Mehrfachfiltermethode ist die minimale Filterbeladung der Summe aller Filter das Produkt aus dem entsprechenden obigen Wert und der Quadratwurzel der Gesamtzahl der Prüfstufen.

5.2 *Spezifikation für die Wägekammer und die Analysenwaage*

5.2.1 Bedingungen für die Wägekammer

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

5.2.2 Vergleichsfilterwägung

Die Umgebungsluft der Wägekammer (oder des Wägeraums) muss frei von jeglichen Schmutzstoffen (beispielsweise Staub) sein, die sich während der Stabilisierung der Partikelfilter auf diesen absetzen könnten. Störungen der in Abschnitt 5.2.1 dargelegten Spezifikationen für den Wägeraum sind zulässig, wenn ihre Dauer 30 Minuten nicht überschreitet. Der Wägeraum soll den vorgeschriebenen Spezifikationen entsprechen, ehe das Personal ihn betritt. Wenigstens zwei unbenutzte Vergleichsfilter oder Vergleichsfilterpaare sind vorzugsweise gleichzeitig mit den Probenahmefiltern zu wägen, höchstens jedoch in einem Abstand von vier Stunden zu diesen. Die Vergleichsfilter müssen dieselbe Größe haben und aus demselben Material bestehen wie die Probenahmefilter.

Wenn sich das Durchschnittsgewicht der Vergleichsfilter(-paare) bei den Wägungen der Probenahmefilter um mehr als $\pm 5\%$ ($\pm 7,5\%$ je Filterpaar) der empfohlenen minimalen Filterbeladung (Abschnitt 5.1.5) ändert, sind alle Probenahmefilter als unbrauchbar anzusehen, und die Abgasemissionsprüfung ist zu wiederholen.

Wenn die in Abschnitt 5.2.1 angegebenen Stabilitätskriterien für den Wägeraum nicht erfüllt sind, aber bei der Wägung des Vergleichsfilters(-filterpaares) die obigen Kriterien eingehalten wurden, kann der Hersteller entweder die ermittelten Gewichte der Probenahmefilter anerkennen oder die Prüfungen für ungültig erklären, wobei das Kontrollsystem des Wägeraums zu justieren und die Prüfung zu wiederholen ist.

5.2.3 Analysenwaage

Die zur Bestimmung der Gewichte sämtlicher Filter benutzte Analysenwaage muss eine Genauigkeit (Standardabweichung) von $20\ \mu\text{g}$ und eine Auflösung von $10\ \mu\text{g}$ (1 Stelle = $10\ \mu\text{g}$) haben. Bei Filtern mit einem Durchmesser von weniger als 70 mm sind eine Genauigkeit und Auflösung von $2\ \mu\text{g}$ bzw. $1\ \mu\text{g}$ erforderlich.

5.2.4 Vermeidung elektrostatischer Reaktionen

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

5.3 *Zusatzbestimmungen für die Partikelmessung*

Alle mit den Rohabgasen oder verdünnten Abgasen in Berührung kommenden Teile des Verdünnungssystems und des Probenahmesystems vom Auspuffrohr bis zum Filterhalter sind so auszulegen, dass die Ablagerung der Partikel darauf und die Veränderung der Partikel so gering wie möglich gehalten werden. Alle Teile müssen aus elektrisch leitendem Material bestehen, das mit den Bestandteilen der Abgase keine Verbindung eingeht; es muss zur Vermeidung elektrostatischer Reaktionen geerdet sein.

1 KALIBRIERUNG DER ANALYSEGERÄTE

1.1 Einleitung

Jedes Analysegerät ist so oft wie nötig zu kalibrieren, damit es den in diesem Standard festgelegten Anforderungen an die Genauigkeit entspricht. Das bei den Analysegeräten nach Anlage 1 Abschnitt 4.3 anzuwendende Kalibrierverfahren ist in diesem Abschnitt beschrieben.

1.2 Kalibriergase

Die Haltbarkeitsdauer aller Kalibriergase ist zu beachten.

Das vom Hersteller angegebene Verfallsdatum der Kalibriergase ist aufzuzeichnen.

1.2.1 Reine Gase

Die erforderliche Reinheit der Gase ergibt sich aus den untenstehenden Grenzwerten der Verschmutzung. Folgende Gase müssen verfügbar sein:

- Gereinigter Stickstoff
(Verschmutzung ≤ 1 ppm C, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)
- Gereinigter Sauerstoff
(Reinheitsgrad $> 99,5$ Vol.-% O₂)
- Wasserstoff-Helium-Gemisch
(40 ± 2 % Wasserstoff, Rest Helium)
(Verschmutzung ≤ 1 ppm C, ≤ 400 ppm CO)
- Gereinigte synthetische Luft
(Verschmutzung ≤ 1 ppm C, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)
(Sauerstoffgehalt 18-21 Vol.-%).

1.2.2 Kalibriergase

Gasgemische mit folgender chemischer Zusammensetzung müssen verfügbar sein:

- C₃H₈ und gereinigte synthetische Luft (siehe Abschnitt 1.2.1),
- CO und gereinigter Stickstoff,
- NO und gereinigter Stickstoff (die in diesem Kalibriergas enthaltene NO₂-Menge darf 5 % des NO-Gehalts nicht übersteigen),
- O₂ und gereinigter Stickstoff,
- CO₂ und gereinigter Stickstoff,
- CH₄ und gereinigte synthetische Luft,
- C₂H₆ und gereinigte synthetische Luft.

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

Die tatsächliche Konzentration eines Kalibriergases muss innerhalb von $\pm 2\%$ des Nennwertes liegen. Alle Kalibriergaskonzentrationen sind als Volumenanteil auszudrücken (Volumenprozent oder ppm als Volumenanteil).

Die zur Kalibrierung verwendeten Gase können auch mit Hilfe eines Gasteilers durch Zusatz von gereinigtem N_2 oder gereinigter synthetischer Luft gewonnen werden. Die Mischvorrichtung muss so genau sein, dass die Konzentrationen der Kalibriergasgemische mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ bestimmt werden können.

1.3 Anwendung der Analyse- und Probenahmegeräte

Für die Anwendung der Analysegeräte sind die Anweisungen der Gerätehersteller für die Inbetriebnahme und den Betrieb zu beachten. Die in den Abschnitten 1.4 bis 1.9 enthaltenen Mindestanforderungen sind einzuhalten.

1.4 Dichtheitsprüfung

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

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

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

1.5 Kalibrierverfahren

1.5.1 Messsystem

Sämtliche Geräte sind zu kalibrieren, und die Kalibrierkurven sind mit Hilfe von Kalibriergasen zu überprüfen. Der Gasdurchsatz muss der gleiche wie bei der Probenentnahme sein.

1.5.2 Aufheizzeit

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

1.5.3 NDIR- und HFID-Analysatoren

Der NDIR-Analysator muss, falls erforderlich, abgestimmt und die Flamme des HFID-Analysators optimiert werden (Abschnitt 1.8.1).

1.5.4 Kalibrierung

Jeder bei normalem Betrieb verwendete Messbereich ist zu kalibrieren.

Die CO -, CO_2 -, NO_x -, CH - und O_2 -Analysatoren sind unter Verwendung von gereinigter synthetischer Luft (oder Stickstoff) auf Null einzustellen.

Die entsprechenden Kalibriergase sind in die Analysatoren einzuleiten und die Werte aufzuzeichnen, und die Kalibrierkurve ist gemäß Abschnitt 1.5.5 zu ermitteln.

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

1.5.5 *Ermittlung der Kalibrierkurve*

1.5.5.1 Allgemeine Hinweise

Die Kalibrierkurve des Analysegerätes wird mit Hilfe von mindestens fünf Kalibrierpunkten (außer Null) ermittelt, die in möglichst gleichen Abständen angeordnet sein sollen. Der Nennwert der höchsten Konzentration darf nicht weniger als 90 % des vollen Skalenendwerts betragen.

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

Die Kalibrierkurve darf höchstens um $\pm 2\%$ vom Nennwert jedes Kalibriergases und höchstens um $\pm 1\%$ des vollen Skalenendwertes bei Null abweichen.

Anhand der Kalibrierkurve und der Kalibrierpunkte kann festgestellt werden, ob die Kalibrierung richtig durchgeführt wurde. Die verschiedenen Kenndaten des Analysegeräts sind anzugeben, insbesondere

- Messbereich,
- Empfindlichkeit,
- Datum der Kalibrierung.

1.5.5.2 Kalibrierung bei weniger als 15 % des vollen Skalenendwerts

Die Kalibrierkurve des Analysegerätes wird mit Hilfe von mindestens zehn Kalibrierpunkten (außer Null) ermittelt, die so angeordnet sein sollen, dass 50 % der Kalibrierpunkte bei unter 10 % des vollen Skalenendwerts liegen.

Die Kalibrierkurve wird nach der Methode der Fehlerquadrate berechnet.

Die Kalibrierkurve darf vom Nennwert jedes Kalibrierpunktes um höchstens $\pm 4\%$ und vom vollen Skalenendwert bei Null um höchstens $\pm 1\%$ abweichen.

1.5.5.3 Andere Methoden

Wenn nachgewiesen werden kann, dass sich mit anderen Methoden (z. B. Computer, elektronisch gesteuerter Messbereichsschalter) die gleiche Genauigkeit erreichen lässt, so dürfen auch diese angewendet werden.

1.6 **Überprüfung der Kalibrierung**

Jeder bei normalem Betrieb verwendete Messbereich ist vor jeder Analyse wie folgt zu überprüfen:

Die Kalibrierung wird unter Verwendung eines Nullgases und eines Messbereichskalibriergases überprüft, dessen Nennwert mehr als 80 % des vollen Skalenendwerts des Messbereichs beträgt.

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

1.7 Prüfung der Wirksamkeit des NO_x -Konverters

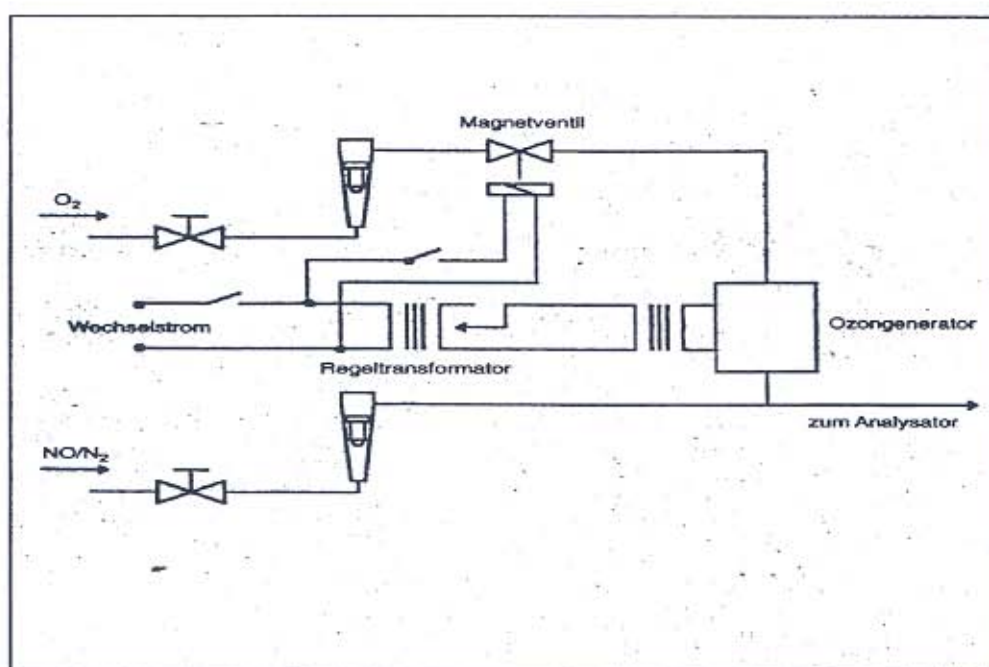
Der Wirkungsgrad des Konverters, der zur Umwandlung von NO_2 in NO verwendet wird, wird wie in den Abschnitten 1.7.1 bis 1.7.8 (Abbildung 1) angegeben bestimmt.

1.7.1 Prüfanordnung

Der Wirkungsgrad des Konverters kann mit Hilfe eines Ozongenerators entsprechend der in Abbildung 1 (siehe auch Anlage 1 Abschnitt 4.3.5) dargestellten Prüfanordnung nach folgendem Verfahren bestimmt werden.

Abbildung 1

Schematische Darstellung des Gerätes zur Bestimmung des Wirkungsgrades des NO_2 -Konverters



1.7.2 Kalibrierung

Der CLD und der HCLD sind in dem am meisten verwendeten Messbereich nach den Angaben des Herstellers unter Verwendung von Null- und Kalibriergas (dessen NO -Gehalt ungefähr 80 % des vollen Skalenendwerts entsprechen muss; die NO_2 -Konzentration des Gasgemischs muss weniger als 5 % der NO -Konzentration betragen) zu kalibrieren. Der NO_x -Analysator muss auf den NO -Betriebszustand eingestellt sein, so dass das Kalibriergas nicht durch den Konverter strömt. Die angezeigte Konzentration ist aufzuzeichnen.

1.7.3 *Berechnung*

Der Wirkungsgrad des NO_x-Konverters wird wie folgt berechnet:

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

a = NO_x-Konzentration nach Abschnitt 1.7.6

b = NO_x-Konzentration nach Abschnitt 1.7.7

c = NO-Konzentration nach Abschnitt 1.7.4

d = NO-Konzentration nach Abschnitt 1.7.5

1.7.4 *Zusatz von Sauerstoff*

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

Die angezeigte Konzentration c ist aufzuzeichnen. Der Ozongenerator bleibt während des gesamten Vorgangs abgeschaltet.

1.7.5 *Einschalten des Ozongenerators*

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

1.7.6 *NO_x-Betriebszustand*

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

1.7.7 *Abschalten des Ozongenerators*

Danach wird der Ozongenerator abgeschaltet. Das Gasgemisch nach Abschnitt 1.7.6 strömt durch den Konverter in das Anzeigegerät. Die angezeigte Konzentration b ist aufzuzeichnen. (Der Analysator befindet sich im NO_x-Betriebszustand.)

1.7.8 *NO-Betriebszustand*

Wird bei abgeschaltetem Ozongenerator auf den NO-Betriebszustand umgeschaltet, so wird auch der Zustrom von Sauerstoff oder synthetischer Luft abgesperrt. Der am Analysator angezeigte NO_x-Wert darf dann von dem nach Abschnitt 1.7.2 gemessenen Wert um höchstens ± 5 % abweichen. (Der Analysator befindet sich im NO-Betriebszustand.)

1.7.9 *Prüfintervalle*

Der Wirkungsgrad des Konverters ist vor jeder Kalibrierung des NO_x-Analysators zu prüfen.

1.7.10 *Vorgeschriebener Wirkungsgrad*

Der Wirkungsgrad des Konverters darf nicht geringer als 90 % sein, jedoch wird ein höherer Wirkungsgrad von mehr als 95 % ausdrücklich empfohlen.

Anmerkung: Wenn der NO_x-Konverter beim Betrieb des Analysators in dem am meisten verwendeten Messbereich einen Rückgang von 80 % auf 20 % gemäß Abschnitt 1.7.2 nicht erreicht, so ist der größte Bereich zu verwenden, mit dem der Rückgang erreicht werden kann.

1.8 **Einstellung des FID**

1.8.1 *Optimierung der Empfindlichkeit des Detektors*

Der HFID ist nach den Angaben des Geräteherstellers einzustellen. Um das Ansprechverhalten für den am meisten verwendeten Betriebsbereich zu optimieren, ist ein Kalibrier gas aus Propan in Luft zu verwenden.

Bei einer Einstellung der Brenngas- und Luftströme, die den Empfehlungen des Herstellers entspricht, ist ein Kalibrier gas von 350 ± 75 ppm C in den Analysator einzuleiten. Die Empfindlichkeit bei einem bestimmten Brenngasstrom ist anhand der Differenz zwischen dem Kalibrier gas-Signal und dem Nullgas-Signal zu ermitteln. Der Brenngasstrom ist um ein Geringes ober- und unterhalb der Herstellerangabe einzustellen. Die Differenz zwischen dem Signal des Kalibrier- und des Nullgases bei diesen Brenngasströmen ist aufzuzeichnen. Die Differenz zwischen dem Kalibrier- und dem Nullgas-Ansprechen ist in Kurvenform aufzutragen und der Brenngasstrom auf die fette Seite der Kurve einzustellen.

1.8.2 *Ansprechfaktoren bei Kohlenwasserstoffen*

Der Analysator ist mit Propan in Luft und gereinigter synthetischer Luft entsprechend Abschnitt 1.5 zu kalibrieren.

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

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

Die zu verwendenden Prüfgase und die empfohlenen Ansprechfaktoren sind bei

- Methan und gereinigter synthetischer Luft: $1,00 \leq R_f \leq 1,15$
- Propylen und gereinigter synthetischer Luft: $0,90 \leq R_f \leq 1,10$
- Toluol und gereinigter synthetischer Luft: $0,90 \leq R_f \leq 1,10$

Diese Werte sind bezogen auf einen Ansprechfaktor (R_f) von 1,00 für Propan und gereinigte synthetische Luft.

1.8.3 *Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit*

Die Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit ist bei Inbetriebnahme eines Analysegeräts und nach wesentlichen Wartungsarbeiten vorzunehmen.

Der Ansprechfaktor ist in Abschnitt 1.8.2 definiert und dementsprechend zu ermitteln. Das zu verwendende Prüfgas und der empfohlene Ansprechfaktor sind bei

- Propan und Stickstoff: $0,95 \leq R_f \leq 1,05$

Dieser Wert ist bezogen auf einen Ansprechfaktor (R_f) von 1,00 für Propan und gereinigte synthetische Luft.

Die Sauerstoffkonzentration in der Brennerluft des FID darf von der Sauerstoffkonzentration der Brennerluft, die bei der zuletzt durchgeführten Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit verwendet wurde, höchstens um ± 1 Mol% abweichen. Ist die Differenz größer, muss die Sauerstoffquerempfindlichkeit überprüft und der Analysator gegebenenfalls justiert werden.

1.9 **Querempfindlichkeiten bei NDIR- und CLD-Analysatoren**

Die Gase, die neben dem zu analysierenden Gas im Abgas enthalten sind, können den Ablesewert auf verschiedene Weise beeinflussen. Eine positive Querempfindlichkeit ergibt sich bei NDIR-Geräten, wenn das beeinträchtigende Gas dieselbe Wirkung zeigt wie das gemessene Gas, jedoch in geringerem Maße. Eine negative Querempfindlichkeit ergibt sich bei NDIR-Geräten, indem das beeinträchtigende Gas die Absorptionsbande des gemessenen Gases verbreitert, und bei CLD-Geräten, indem das beeinträchtigende Gas die Strahlung unterdrückt. Die Prüfungen der Querempfindlichkeit nach den Abschnitten 1.9.1 und 1.9.2 sind vor der Inbetriebnahme des Analysators und nach wesentlichen Wartungsarbeiten durchzuführen.

1.9.1 *Kontrolle der Querempfindlichkeit des CO-Analysators*

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

1.9.2 *Kontrollen der Querempfindlichkeit bei NO_x-Analysator*

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

1.9.2.1 *Kontrolle der CO₂-Querempfindlichkeit*

Ein CO₂-Kalibriergas mit einer Konzentration von 80 bis 100 % des vollen Skalenendwertes des maximalen Messbereichs ist durch den NDIR-Analysator zu leiten und der CO₂-Wert als A aufzuzeichnen. Danach ist das Gas zu etwa 50 % mit NO-Kalibriergas zu verdünnen und durch den NDIR und den (H)CLD zu leiten, wobei der CO₂-Wert und der NO-Wert als B bzw. C aufzuzeichnen sind. Das CO₂ ist abzusperrern und nur das NO-Kalibriergas durch den (H)CLD zu leiten, und der NO-Wert ist als D aufzuzeichnen.

Die Querempfindlichkeit wird wie folgt berechnet:

$$\% \text{ CO}_2 \text{ Querempfindlichkeit} = \left[1 - \left(\frac{(C \times A)}{(D \times A) - (D \times B)} \right) \right] \times 100$$

und darf nicht größer als 3 % des vollen Skalenendwertes sein.

Hierbei bedeuten:

- A die mit dem NDIR gemessene Konzentration des unverdünnten CO₂ in %
- B die mit dem NDIR gemessene Konzentration des verdünnten CO₂ in %
- C die mit dem CLD gemessene Konzentration des verdünnten NO in ppm
- D die mit dem CLD gemessene Konzentration des unverdünnten NO in ppm

1.9.2.2 Kontrolle der Wasserdampf-Querempfindlichkeit

Diese Überprüfung gilt nur für Konzentrationsmessungen des feuchten Gases. Bei der Berechnung der Wasserdampf-Querempfindlichkeit ist die Verdünnung des NO-Kalibriergases mit Wasserdampf und die Skalierung der Wasserdampfkonzentration des Gemischs im Vergleich zu der während der Prüfung erwarteten Konzentration zu berücksichtigen. Ein NO-Kalibriergas mit einer Konzentration von 80 bis 100 % des vollen Skalenendwertes des normalen Betriebsbereichs ist durch den (H)CLD zu leiten und der NO-Wert als D aufzuzeichnen. Das NO-Gas muss bei Raumtemperatur durch Wasser perlen und durch den (H)CLD geleitet werden, und der NO-Wert ist als C aufzuzeichnen. Der absolute Betriebsdruck im Analysator und die Wassertemperatur sind zu bestimmen und als E bzw. F aufzuzeichnen. Der Sättigungsdampfdruck des Gemischs, der der Temperatur des Wassers F in der Waschflasche entspricht, ist zu bestimmen und als G aufzuzeichnen. Die Wasserdampfkonzentration H (in %) des Gemischs ist wie folgt zu berechnen:

$$H = 100 \times \left(\frac{G}{E} \right)$$

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

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

und als De aufzuzeichnen. Die maximale bei der Prüfung erwartete Wasserdampfkonzentration im Abgas (in %) anhand der Konzentration des unverdünnten CO₂-Kalibriergases (A, wie nach Abschnitt 1.9.2.1 gemessen) - ausgehend von einem Atomverhältnis H/C des Kraftstoffs von 1,8 zu 1 - wie folgt zu schätzen:

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

und als Hm aufzuzeichnen.

Die Wasserdampf-Querempfindlichkeit ist wie folgt zu berechnen:

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

und darf nicht mehr als 3 % des Realwertes betragen.

- De erwartete Konzentration des verdünnten NO (ppm)
- C Konzentration des verdünnten NO (ppm)
- Hm maximale Wasserdampfkonzentration (%)
- H tatsächliche Wasserdampfkonzentration (%)

Anmerkung: Es ist darauf zu achten, dass das NO-Kalibriergas bei dieser Überprüfung eine sehr geringe NO₂-Konzentration aufweist, da die Absorption von NO₂ in Wasser bei den Querempfindlichkeitsberechnungen nicht berücksichtigt wurde.

1.10 Kalibrierintervalle

Die Analysatoren sind mindestens alle drei Monate sowie nach jeder Reparatur des Systems oder Veränderung, die die Kalibrierung beeinflussen könnte, entsprechend Abschnitt 1.5 zu kalibrieren.

2. KALIBRIERUNG DES PARTIKELMESSSYSTEMS

2.1 Einleitung

Jedes Gerät ist so oft wie nötig zu kalibrieren, damit es den in diesem Standard festgelegten Anforderungen an die Genauigkeit entspricht. Das bei den Geräten nach Anlage 1 Abschnitt 5 und Teil IV anzuwendende Kalibrierverfahren ist in diesem Abschnitt beschrieben.

2.2 Messung des Durchsatzes

Die Kalibrierung der Gasdurchsatzmesser oder Durchflussmengenmessgeräte muss auf nationale oder internationale Normen zurückzuführen sein.

Der Fehler des gemessenen Wertes darf höchstens ± 2 % des Ablesewerts betragen.

Wird der Gasdurchsatz durch Differenzdruckmessung bestimmt, so darf der Fehler der Differenz höchstens so groß sein, dass die Genauigkeit von G_{EDF} innerhalb einer Toleranz von ± 4 % liegt (siehe auch Teil IV Abschnitt 2.1.1 EGA). Die Berechnung kann durch Bilden der mittleren Quadratwurzel der Fehler jedes Geräts erfolgen.

2.3 Überprüfung des Verdünnungsverhältnisses

Bei Anwendung von Partikel-Probenahmesystemen ohne EGA (Teil IV Abschnitt 2.1.1) ist das Verdünnungsverhältnis für jede neue Motorinstallation bei laufendem Motor und unter Verwendung der Messungen der CO₂- oder der NO_x-Konzentrationen im Rohabgas und im verdünnten Abgas zu überprüfen.

Das gemessene Verdünnungsverhältnis darf von dem anhand der CO₂- oder NO_x-Konzentrationsmessung berechneten Verdünnungsverhältnis um höchstens ± 10 % abweichen.

Bei Verwendung von Durchflussmessern hoher Genauigkeit (Teil II Abschnitt 3.4) kann die Überprüfung in geeigneter Weise ohne die Messung der CO₂- oder NO_x-Konzentrationen erfolgen.

2.4 **Überprüfung der Teilstrombedingungen**

Der Bereich der Abgasgeschwindigkeit und die Druckschwankungen sind zu überprüfen und erforderlichenfalls entsprechend den Bestimmungen in Teil IV Abschnitt 2.1.1 (EP) einzustellen.

2.5 **Kalibrierintervalle**

Die Durchflussmengenmessgeräte sind mindestens alle drei Monate sowie nach jeder Reparatur des Systems oder Veränderungen, die die Kalibrierung beeinflussen können, zu kalibrieren.

AUSWERTUNG DER MESSWERTE UND BERECHNUNGEN

1 Auswertung der Messwerte bei gasförmigen Emissionen

Zur Bewertung der Emissionen gasförmiger Schadstoffe ist der Durchschnittswert aus den Aufzeichnungen der letzten 60 Sekunden jeder Prüfstufe zu bilden und sind die durchschnittlichen Konzentrationen (conc) von HC, CO, NO_x und - bei Verwendung der Kohlenstoffbilanzmethode - von CO₂ während jeder Prüfstufe aus den Durchschnittswerten der Aufzeichnungen und den entsprechenden Kalibrierdaten zu bestimmen. Es kann eine andere Art der Aufzeichnung angewandt werden, wenn diese eine gleichwertige Datenerfassung gewährleistet.

Die durchschnittlichen Hintergrundkonzentrationen (conc_d) können anhand der Ablesewerte der Verdünnungsluft im Sammelbeutel oder anhand der fortlaufenden (ohne Sammelbeutel vorgenommenen) Hintergrundmessung und der entsprechenden Kalibrierdaten bestimmt werden.

2 Partikelemissionen

Zur Partikelbewertung sind die Gesamtmassen (M_{SAM,i}) oder Gesamtvolumina (V_{SAM,i}) der durch die Filter geleiteten Probe für jede Prüfstufe aufzuzeichnen.

Die Filter sind wieder in die Wägekammer zu bringen und wenigstens eine, jedoch nicht mehr als 80 Stunden lang zu konditionieren und dann zu wiegen. Das Bruttogewicht der Filter ist aufzuzeichnen und das Nettogewicht (siehe Teil II Abschnitt 3.1) abzuziehen. Die Partikelmasse (M_f bei Einfachfiltermethode, M_{f,i} bei Mehrfachfiltermethode) ist die Summe der auf den Haupt- und Nachfiltern gesammelten Partikelmassen.

Bei Anwendung einer Hintergrundkorrektur ist die Masse (M_{DIL}) oder das Volumen (V_{DIL}) der durch die Filter geleiteten Verdünnungsluft und die Partikelmasse (M_d) aufzuzeichnen. Wurde mehr als eine Messung vorgenommen, so ist der Quotient M_d/M_{DIL} oder M_d/V_{DIL} für jede einzelne Messung zu berechnen und der Durchschnitt der Werte zu bestimmen.

Können die belegten Filter nicht unmittelbar nach der Messung in die Wägekammer gebracht werden, sind Lagerzeiten entsprechend nachfolgender Tabelle zulässig:

Lagertemperaturen	Lagerzeit
Umgebungsbedingungen	8 Stunden
0 °C	24 Stunden
- 5 °C	10 Tage
- 10°C	unbegrenzt

3 Berechnung der gasförmigen Emissionen

Die in das Prüfprotokoll aufzunehmenden Prüfergebnisse werden in folgenden Schritten ermittelt:

3.1 Bestimmung des Abgasdurchsatzes

Die Werte des Abgasdurchsatzes (G_{EXHW}, V_{EXHW} oder V_{EXHD}) sind für jede Prüfstufe nach Anlage 1 Abschnitte 2.1 bis 2.3 zu bestimmen.

Bei Verwendung eines Vollstrom-Verdünnungssystems ist der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases (G_{TOTW}, V_{TOTW}) für jede Prüfstufe nach Anlage 1 Abschnitt 2.4 zu bestimmen.

3.2 Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

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

$$\text{conc (feucht)} = K_w \times \text{conc (trocken)}$$

Für das Rohabgas:

$$k_{w,r,1} = \left(1 - F_{FH} \times \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} \right) - k_{w2}$$

oder:

$$k_{w,r,2} = \left(\frac{1}{1 + 1,88 \times 0,005 \times (\% CO [trocken] + \% CO_2 [trocken])} \right) - k_{w2}$$

Für das verdünnte Abgas:

$$k_{w,e,1} = \left(1 - \frac{1,88 \times CO_2 \% (feucht)}{200} \right) - k_{w1}$$

oder

$$k_{w,e,2} = \left(\frac{1 - k_{w1}}{1 + \frac{1,88 \times CO_2 \% (trocken)}{200}} \right)$$

F_{FH} kann so berechnet werden:

$$F_{FH} = \frac{1,969}{\left(1 + \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRW}} \right)}$$

Für die Verdünnungsluft:

$$K_{W,d} = 1 - K_{W1}$$

$$k_{W1} = \frac{1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1\,000 + 1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}$$

$$H_d = \frac{6,22 \times R_d \times P_d}{P_b - P_d \times R_d \times 10^{-2}}$$

Für die Ansaugluft (wenn anders als die Verdünnungsluft):

$$K_{W,a} = 1 - K_{W2}$$

$$k_{W2} = \frac{1,608 \times H_a}{1\,000 + (1,608 \times H_a)}$$

$$H_a = \frac{6,22 \times R_a \times P_a}{P_b - P_a \times R_a \times 10^{-2}}$$

Hierbei bedeuten:

- H_a absolute Feuchtigkeit der Ansaugluft, g Wasser je kg trockener Luft
- H_d absolute Feuchtigkeit der Verdünnungsluft, g Wasser je kg trockener Luft
- R_d relative Feuchtigkeit der Verdünnungsluft, %
- R_a relative Feuchtigkeit der Ansaugluft, %
- p_d Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft, kPa
- p_a Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft, kPa
- p_b barometrischer Gesamtdruck, kPa

3.3 Feuchtekorrektur bei NO_x

3.3.1 Dieselmotoren

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

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

Hierbei bedeuten:

- A 0,309 G_{FUEL}/G_{AIRD} - 0,0266
- B - 0,209 G_{FUEL}/G_{AIRD} + 0,00954
- T Lufttemperatur in K

$$\frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} = \text{Kraftstoff} - \text{Luft} - \text{Verhältnis (trockene Luft)}$$

- H_a Feuchtigkeit der Ansaugluft, g Wasser je kg trockener Luft:

$$H_a = \frac{6,220 \times R_a \times P_a}{P_b - P_a \times R_a \times 10^{-2}}$$

- R_a relative Feuchtigkeit der Ansaugluft, %
- p_a Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft, kPa
- p_b barometrischer Gesamtdruck, kPa

3.3.2 Dieselmotoren mit Ladeluftkühler

Für Dieselmotoren mit Ladeluftkühler darf die folgende Gleichung alternativ angewendet werden:

$$K_{HDIES} = \frac{1}{1 - 0,012 \cdot (H_a - 10,71) - 0,00275 \cdot (T_a - 298) + 0,00285 \cdot (T_{SC} - T_{SCRef})}$$

Hierbei bedeuten:

- T_{SC} Lufttemperatur hinter Ladeluftkühler
- T_{SCRef} Bezugstemperatur bei Rohkühlwasser 25 °C, muss vom Hersteller festgelegt werden
- übrige Variablen siehe Abschnitt 3.3.1.

3.4 Berechnung der Emissionsmassendurchsätze

Die Massendurchsätze der Emissionen für jeden Prüfpunkt sind wie folgt zu berechnen:

a) Für das Rohabgas⁽¹⁾:

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

oder:

$$Gas_{mass} = v \cdot conc \cdot V_{EXHD}$$

oder:

$$Gas_{mass} = w \cdot conc \cdot V_{EXHW}$$

b) Für das verdünnte Abgas⁽¹⁾:

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

oder:

$$Gas_{mass} = w \cdot conc_c \cdot V_{TOTW}$$

Hierbei bedeuten:

$conc_c$ = die hintergrundkorrigierte Konzentration

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

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

oder:

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

Die Koeffizienten u - feucht, v - trocken, w - feucht sind entsprechend der folgenden Tabelle zu verwenden:

Gas	u	v	w	conc
NO _x	0,001587	0,002053	0,002053	ppm
CO	0,000966	0,00125	0,00125	ppm
HC	0,000479	-	0,000619	ppm
CO ₂	15,19	19,64	19,64	Prozent

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

⁽¹⁾ Im Fall von NO_x ist die NO_x-Konzentration (No_xconc oder No_xconc_c) mit K_{HNOX} (Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für No_x angegeben in Abschnitt 3.3) wie folgt zu multiplizieren:
K_{HNOX} x conc oder K_{HNOX} x conc_c

3.5 Berechnung der spezifischen Emissionen

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

$$\text{Einzelnes Gas} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{aSmass} \cdot WR}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot WR}$$

Hierbei ist $P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$

Die in der obigen Berechnung verwendeten Wichtungsfaktoren und die Anzahl der Prüfstufen (n) entsprechen Teil II Abschnitt 3.6.

4 Berechnung der Partikelemission

Die Partikelemission ist folgendermaßen zu berechnen:

4.1 Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel

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

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

- H_a Feuchtigkeit der Ansaugluft, g Wasser je kg trockener Luft

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

- R_a relative Feuchtigkeit der Ansaugluft, %

- p_a Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft, kPa

- p_B barometrischer Gesamtdruck, kPa

4.2 Teilstrom-Verdünnungssystem

Die in das Prüfprotokoll aufzunehmenden Ergebnisse der Prüfung der Partikelemissionen werden in folgenden Schritten ermittelt. Da verschiedene Arten der Kontrolle des Verdünnungsverhältnisses angewandt werden dürfen, gelten verschiedene Methoden zur Berechnung des äquivalenten Massendurchsatzes des verdünnten Abgases G_{EDF} oder des äquivalenten Volumendurchsatzes des verdünnten Abgases V_{EDF} . Alle Berechnungen müssen auf den Durchschnittswerten der einzelnen Prüfstufen (i) während der Probenahmedauer beruhen.

4.2.1 Isokinetische Systeme

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

oder:

$$V_{EDFW,j} = V_{EXHW,j} \cdot q_i$$

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

oder:

$$q_i = \frac{V_{DILW,j} + (V_{EXHW,j} \cdot x \cdot r)}{(V_{EXHW,j} \cdot x \cdot r)}$$

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

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

4.2.2 Systeme mit Messung von CO_2 - oder NO_x -Konzentration

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

oder:

$$V_{EDFW,j} = V_{EXHW,j} \cdot q_i$$

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

Hierbei ist:

- $conc_E$ Konzentration des feuchten Tracergases im unverdünnten Abgas
- $conc_D$ Konzentration des feuchten Tracergases im verdünnten Abgas
- $conc_A$ Konzentration des feuchten Tracergases in der Verdünnungsluft

Die auf trockener Basis gemessenen Konzentrationen sind gemäß Abschnitt 3.2 in Feuchtwerte umzuwandeln.

4.2.3 Systeme mit CO_2 -Messung und Kohlenstoffbilanzmethode

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

Hierbei ist:

- CO_{2D} CO₂-Konzentration des verdünnten Abgases

- CO_{2A} CO₂-Konzentration der Verdünnungsluft

(Konzentrationen in Volumenprozent, feucht)

Diese Gleichung beruht auf der Annahme der Kohlenstoffbilanz (die dem Motor zugeführten Kohlenstoffatome werden als CO₂ freigesetzt) und wird in nachstehenden Schritten ermittelt:

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

und

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

4.2.4 Systeme mit Durchsatzmessung

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

und

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

4.3 Vollstrom-Verdünnungssystem

Die in das Prüfprotokoll aufzunehmenden Ergebnisse der Prüfung der Partikelemissionen werden in folgenden Schritten ermittelt.

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

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

oder:

$$V_{EDFW,j} = V_{TOTW,j}$$

4.4 Berechnung des Partikelmassendurchsatzes

Der Partikelmassendurchsatz ist wie folgt zu berechnen:

Bei der Einfachfiltermethode:

$$PT_{mass} = \frac{M_f}{M_{SAM}} \times \frac{(G_{EDFW})_{aver}}{1000}$$

oder:

$$PT_{mass} = \frac{M_f}{V_{SAM}} \times \frac{(V_{EDFW})_{aver}}{1\,000}$$

Hierbei gilt:

$(G_{EDFW})_{aver}$, $(V_{EDFW})_{aver}$, $(M_{SAM})_{aver}$, $(V_{SAM})_{aver}$ sind über den Prüfzyklus durch Addition der in den einzelnen Prüfstufen während der Probenahmedauer ermittelten Durchschnittswerte zu bestimmen:

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

$$(V_{EDFW})_{aver} = \sum_{i=1}^n V_{EDFW,i} \times WF_i$$

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

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

wobei $i = 1, \dots, n$

Bei der Mehrfachfiltermethode:

$$PT_{mass,i} = \frac{M_{f,i}}{M_{SAM,i}} \times \frac{(G_{EDFW,i})}{1\,000}$$

oder:

$$PT_{mass,i} = \frac{M_{f,i}}{V_{SAM,i}} \times \frac{(V_{EDFW,i})}{1\,000}$$

wobei $i = 1, \dots, n$

Die Hintergrundkorrektur des Partikelmassendurchsatzes kann wie folgt vorgenommen werden:

Bei der Einfachfiltermethode:

$$PT_{mass} = \left[\frac{M_f}{M_{SAM}} - \left(\frac{M_d}{M_{DIL}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \right] \times \left[\frac{(G_{EDFW})_{aver}}{1\,000} \right]$$

oder:

$$PT_{mass} = \left[\frac{M_f}{V_{SAM}} - \left(\frac{M_d}{V_{DIL}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \right] \times \left[\frac{(V_{EDFW})_{aver}}{1\,000} \right]$$

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so sind (M_d/M_{DIL}) oder (M_d/V_{DIL}) durch $(M_d/M_{DIL})_{aver}$ bzw. $(M_d/V_{DIL})_{aver}$ zu ersetzen.

$$DF = \frac{13,4}{concCO_2 + (concCO + concHC) \times 10^{-4}}$$

oder:

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

Bei der Mehrfachfiltermethode:

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

oder:

$$PT_{mass,i} = \left[\frac{M_{f,i}}{V_{SAM,i}} - \left(\frac{M_{d,i}}{V_{DIL,i}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \right] \times \left[\frac{(V_{EDFW,i})}{1\,000} \right]$$

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so sind (M_d/M_{DIL}) oder (M_d/V_{DIL}) durch $(M_d/M_{DIL})_{aver}$ bzw. $(M_d/V_{DIL})_{aver}$ zu ersetzen.

$$DF = \frac{13,4}{concCO_2 + (concCO + concHC) \times 10^{-4}}$$

oder:

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

4.5 Berechnung der spezifischen Emissionen

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

Bei der Einfachfiltermethode:

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

⁽¹⁾ Der Partikelmassendurchsatz PT_{mass} ist mit K_p (Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel laut Abschnitt 4.1) zu multiplizieren.

Bei der Mehrfachfiltermethode:

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

$$P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$$

4.6 Effektiver Wichtungsfaktor

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

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

oder:

$$WF_{E,i} = \frac{V_{SAM,i} \times (V_{EDFW})_{aver}}{V_{SAM} \times (V_{EDFW,i})}$$

wobei $i = 1, \dots, n$

Der Wert der effektiven Wichtungsfaktoren darf von den Werten der in Teil II Abschnitt 3.6 aufgeführten Wichtungsfaktoren um höchstens $\pm 0,005$ (absoluter Wert) abweichen.

Teil III

Technische Daten des Bezugskraftstoffs für die Prüfungen zur Typgenehmigung und die Überprüfung der Übereinstimmung

BEZUGSKRAFTSTOFF FÜR BINNENSCHIFFE⁽¹⁾

Anmerkung: Die Hervorhebungen kennzeichnen die wesentlichen Eigenschaften in bezug auf Motorleistung/Abgasemissionen.

	Grenzwerte und Einheiten ⁽²⁾	Prüfmethode
Cetanzahl⁽⁴⁾	min. 45 ⁽⁷⁾ max. 50	ISO 5165
Dichte bei 15 °C	min. 835 kg/m ³ max. 845 kg/m ³⁽¹⁰⁾	ISO 3675, ASTM D 4052
Siedeverlauf⁽³⁾ - 95 %-Absatz	max. 370 °C	ISO 3405
Viskosität bei 40 °C	min. 2,5 mm ² /s max. 3,5 mm ² /s	ISO 3104
Schwefelgehalt	min. 0,1 Massen-% ⁽⁹⁾ max. 0,2 Massen-% ⁽⁸⁾	ISO 8754, EN 24260
Flammpunkt	min. 55 °C	ISO 2719
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPPP)	min. - max. + 5 °C	EN 116
Kupferlamellenkorrosion	max. 1	ISO 2160
Conradsonzahl (Verkokungsneigung) bei 10 % Rückstand	max. 0,3 Massen-%	ISO 10370
Aschegehalt	max. 0,01 Massen-%	ASTM D 482 ⁽¹²⁾
Wassergehalt	max. 0,05 Massen-%	ASTM D 95, D 1744
Neutralisationszahl (starke Säure)	min. 0,20 mg KOH/g	
Oxidationsbeständigkeit ⁽⁵⁾	max. 2,5 mg/100 ml	ASTM D 2274
Zusätze ⁽⁶⁾		

Anmerkung 1: Soll der thermische Wirkungsgrad eines Motors oder Fahrzeugs berechnet werden, so kann der Heizwert des Kraftstoffs nach folgender Formel ermittelt werden:

$$\text{Spezifische Energie (Heizwert) (netto) MJ/kg} = (46,423 - 8,792 d^2 + 3,17 d) \cdot (1 - (x + y + s)) + 9,42 s - 2,499 x$$

Hierbei bedeuten:

d = Dichte bei 288 K (15 °C)

x = Wassergehalt in Gewichts-% (%/100)

y = Aschegehalt in Gewichts-% (%/100)

s = Schwefelgehalt in Gewichts-% (%/100).

Anmerkung 2: Die in der Vorschrift angegebenen Werte sind "tatsächliche Werte". Bei der Festlegung

der Grenzwerte wurden die Bestimmungen aus dem ASTM-Dokument D 3244 „Festlegung einer Grundlage bei Streitfällen, die die Qualität von Erdölprodukten betreffen“ übernommen, bei der Festlegung eines Höchstwerts wurde eine Mindestdifferenz von 2R über Null berücksichtigt; bei der Festlegung eines Höchst- und eines Mindestwerts beträgt die Mindestdifferenz 4R (R = Reproduzierbarkeit).

Unbeschadet dieser statistischen Zwecken dienenden Messung sollte sich der Hersteller des Kraftstoffs trotzdem bemühen, dort, wo ein Höchstwert von 2R vereinbart ist, einen Nullwert zu erreichen, und dort, wo Ober- und Untergrenzen angegeben sind, einen Mittelwert zu erreichen. Falls Zweifel bestehen, ob ein Kraftstoff die vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt, gelten die Bestimmungen des ASTM-Dokuments D 3244.

- Anmerkung 3:** Die genannten Zahlen geben die insgesamt verdampften Mengen an (prozentualer zurückgewonnener Anteil plus prozentualer Verlustanteil).
- Anmerkung 4:** Der Cetanzahlbereich entspricht nicht der vorgeschriebenen Mindestforderung von 4R. Bei Streitigkeiten zwischen Kraftstofflieferanten und -verbrauchern dürfen zur Herbeiführung einer Lösung die Bestimmungen des ASTM-Dokuments D 3244 angewendet werden, sofern hinreichend vielen Wiederholungen zur Erzielung der erforderlichen Präzision der Vorzug vor Einzelbestimmungen gegeben wird.
- Anmerkung 5:** Obwohl die Oxidationsbeständigkeit überwacht wird, ist die Lagerfähigkeitsdauer vermutlich begrenzt. Hinsichtlich der Lagerbedingungen und der Lagerfähigkeit sind Informationen von Lieferanten anzufordern.
- Anmerkung 6:** Für diesen Kraftstoff sollten ausschließlich Destillationsprodukte und gekrackte Kohlenwasserstoffe verwendet werden; eine Entschwefelung ist zulässig. Der Kraftstoff darf keine metallischen Zusätze oder sonstigen Zusätze zur Erhöhung der Cetanzahl enthalten.
- Anmerkung 7:** Niedrigere Werte sind zulässig, doch ist in diesem Fall die Cetanzahl des verwendeten Bezugskraftstoffs anzugeben.
- Anmerkung 8:** Höhere Werte sind zulässig, doch ist in diesem Fall der Schwefelgehalt des Bezugskraftstoffs anzugeben.
- Anmerkung 9:** Diese Werte sind unter Berücksichtigung der Marktentwicklung fortlaufend zu überarbeiten. Zur ersten Genehmigung eines Motors ohne Abgasnachbehandlung ist auf Anfrage des Antragstellers als Mindestwert für den Schwefelgehalt der Wert von 0,050 Massen-% zulässig; in diesem Fall muss der gemessene Partikelwert anhand der nachstehenden Gleichung nach oben auf den Durchschnittswert korrigiert werden, der nominell als Schwefelgehalt des Kraftstoffs vorgesehen ist (0,150 Massen-%):

$$PT_{adj} = PT + [SFC \cdot 0,0917 \cdot (NSLF - FSF)]$$

Hierbei bedeuten:

- PT_{adj} = angepaßter PT-Wert (g/kWh)
 PT = gemessener gewichteter spezifischer Emissionswert für Partikelemissionen (g/kWh)
 SFC = gewichteter spezifischer Kraftstoffverbrauch (g/kWh) entsprechend nachstehender Formel
 $NSLF$ = Durchschnitt des nominell vorgesehenen Massenanteils des Schwefelgehalts (d. h. 0,15 %/100)
 FSF = Massenanteil des Schwefelgehalts des Kraftstoffs (%/100)

Gleichung zur Berechnung des gewichteten spezifischen Kraftstoffverbrauchs:

$$SFC = \frac{\sum_{i=1}^n G_{FUEL,i} \times WF_i}{\sum_{i=1}^n P_i \times WF_i}$$

Dabei gilt:

$$P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$$

Zur Beurteilung der Übereinstimmung der Produktion gemäß Anlage J Abschnitt 4.3.2 müssen die Anforderungen unter Verwendung eines Bezugskraftstoffs mit einem Schwefelgehalt, der dem Mindest-/Höchstwert von 0,1/0,2 Massen-% entspricht, erfüllt werden.

Anmerkung 10: Höhere Werte bis 855 kg/m³ sind zulässig; in diesem Fall ist die Dichte des Bezugskraftstoffs anzugeben. Zur Beurteilung der Übereinstimmung der Produktion gemäß Anlage J Abschnitt 4.3.2 müssen die Anforderungen unter Verwendung eines Bezugskraftstoffs, der dem Mindest-/Höchstwert von 835/845 kg/m³ entspricht, erfüllt werden.

Anmerkung 11: Alle Kraftstoffdaten und Grenzwerte sind unter Berücksichtigung der Marktentwicklung laufend zu überprüfen.

Anmerkung 12: Vom Durchführungsdatum an durch EN/ISO 6245 zu ersetzen.

Teil IV

Analyse- und Probenahmesystem

SYSTEME ZUR PROBEENTNAHME VON GASFÖRMIGEN UND PARTIKELEMISSIONEN

Nummer der Abbildung	Beschreibung
2	Abgasanalyzesystem für Rohabgas
3	Abgasanalyzesystem für verdünntes Abgas
4	Teilstrom, isokinetischer Durchfluss, Ansauggebläseregelung, Teilprobenahme
5	Teilstrom, isokinetischer Durchfluss, Druckgebläseregelung, Teilprobenahme
6	Teilstrom, CO ₂ - oder NO _x -Regelung, Teilprobenahme
7	Teilstrom, CO ₂ - und Kohlenstoffbilanz, Gesamtprobenahme
8	Teilstrom, Einfach-Venturirohr und Konzentrationsmessung, Teilprobenahme
9	Teilstrom, Doppel-Venturirohr oder -Blende und Konzentrationsmessung, Teilprobenahme
10	Teilstrom, Mehrfachröhrenteilung und Konzentrationsmessung, Teilprobenahme
11	Teilstrom, Durchsatzregelung; Gesamtprobenahme
12	Teilstrom, Durchsatzregelung, Teilprobenahme
13	Vollstrom, Verdrängerpumpe oder Venturi-Rohr mit kritischer Strömung, Teilprobenahme
14	Partikel-Probenahmesystem
15	Verdünnungsanlage für Vollstromsystem

1 Bestimmung der gasförmigen Emissionen

Ausführliche Beschreibungen der empfohlenen Probenahme- und Analysesysteme sind in Abschnitt 1 sowie in den Abbildungen 2 und 3 enthalten. Da mit verschiedenen Anordnungen gleichwertige Ergebnisse erzielt werden können, ist eine genaue Übereinstimmung mit diesen Abbildungen nicht erforderlich. Es können zusätzliche Bauteile wie Instrumente, Ventile, Elektromagnete, Pumpen und Schalter verwendet werden, um weitere Informationen zu erlangen und die Funktionen der Teilsysteme zu koordinieren. Bei einigen Systemen kann auf manche Bauteile, die für die Aufrechterhaltung der Genauigkeit nicht erforderlich sind, verzichtet werden, wenn ihr Wegfall nach bestem technischen Ermessen begründet erscheint.

Bestandteile gasförmiger Emissionen - CO, CO₂, HC, NO_x

Es wird ein Analysesystem für die Bestimmung der gasförmigen Emissionen im Rohabgas oder verdünnten Abgas beschrieben, das auf der Verwendung

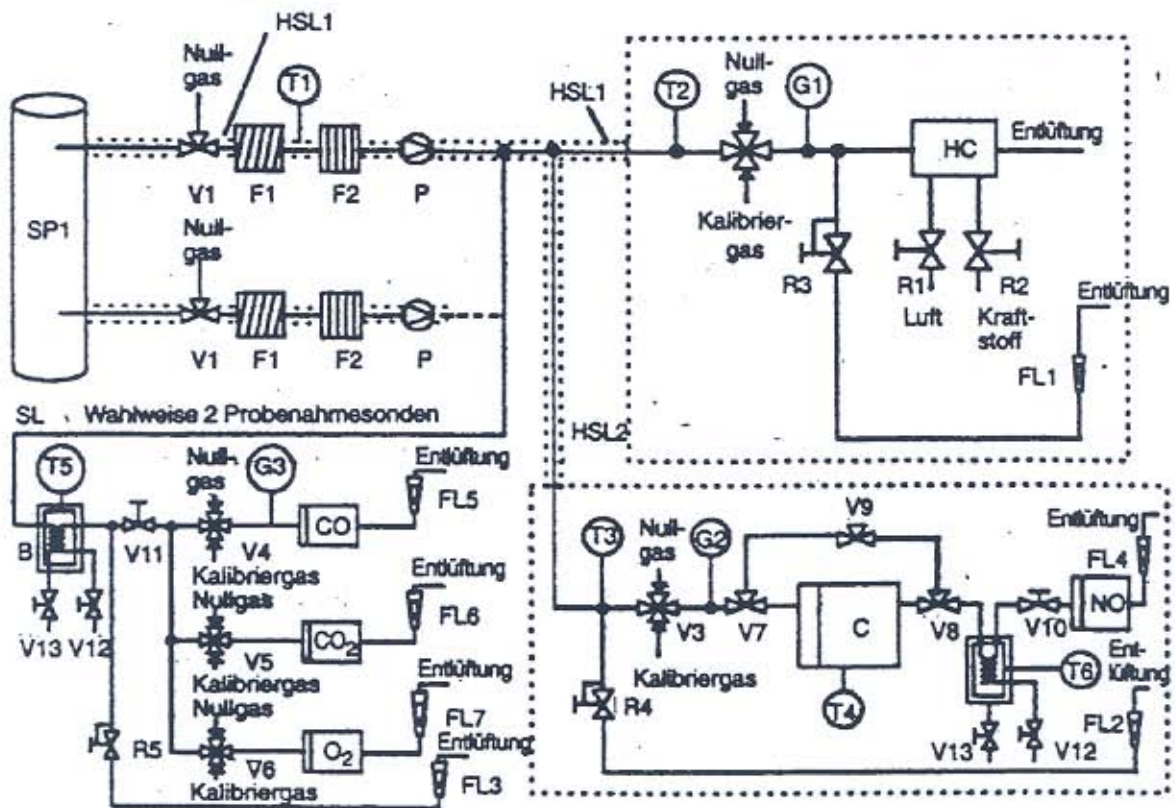
- eines HFID-Analysators für die Messung der Kohlenwasserstoffe,
 - von NDIR-Analysatoren für die Messung von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid,
 - eines HCLD- oder gleichwertigen Analysators für die Messung der Stickoxide
- beruht.

Beim Rohabgas (siehe Abbildung 2) kann die Probe zur Bestimmung sämtlicher Bestandteile mit einer Probenahmesonde oder zwei nahe beieinander befindlichen Probenahmesonden entnommen werden und intern nach den verschiedenen Analysatoren aufgespalten werden. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass sich an keiner Stelle des Analysesystems Kondensate von Abgasbestandteilen (einschließlich Wasser und Schwefelsäure) bilden.

Beim verdünnten Abgas (siehe Abbildung 3) ist die Probe zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe mit einer anderen Probenahmesonde zu entnehmen als die Probe zur Bestimmung der anderen Bestandteile. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass sich an keiner Stelle des Analysesystems Kondensate von Abgasbestandteilen (einschließlich Wasser und Schwefelsäure) bilden.

Abbildung 2

Flussdiagramm des Abgasanalysestems für CO, NO_x und HC



- einen Innendurchmesser von mindestens 5 mm haben,
 - im Verdünnungstunnel DT (Abschnitt 2.1.2) an einer Stelle angebracht sein, wo Verdünnungsluft und Abgase gut vermischt sind (d. h. etwa 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten),
 - in ausreichender Entfernung (radial) von anderen Sonden und von der Tunnelwand angebracht werden, um eine Beeinflussung durch Wellen oder Wirbel zu vermeiden,
 - so beheizt werden, dass die Temperatur des Gasstroms am Sondenauslass auf 463 K (190 °C) \pm 10 K erhöht wird.
- *SP3: Sonde zur Entnahme von CO-, CO₂- und NO_x-Proben aus dem verdünnten Abgas (nur Abbildung 3)*

Die Sonde muss

- sich auf derselben Ebene wie SP2 befinden,
 - in ausreichender Entfernung (radial) von anderen Sonden und von der Tunnelwand angebracht werden, um eine Beeinflussung durch Wellen oder Wirbel zu vermeiden,
 - über ihre gesamte Länge beheizt und so isoliert sein, dass die Mindesttemperatur 328 K (55 °C) beträgt, um eine Kondenswasserbildung zu vermeiden.
- *HSL1: beheizte Probenahmeleitung*

Die Probenahmeleitung dient der Entnahme von Gasproben von einer einzelnen Sonde bis hin zu dem (den) Aufteilungspunkt(en) und dem HC-Analysator.

Die Probenahmeleitung muss

- einen Innendurchmesser von mindestens 5 mm und höchstens 13,5 mm haben,
 - aus rostfreiem Stahl oder PTFE bestehen,
 - auf einer Wandtemperatur von 463 K (190 °C) \pm 10 K, gemessen an jedem getrennt geregelten beheizten Abschnitt, gehalten werden, wenn die Abgastemperatur an der Probenahmesonde bis einschließlich 463 K (190 °C) beträgt,
 - auf einer Wandtemperatur von über 453 K (180 °C) gehalten werden, wenn die Abgastemperatur an der Probenahmesonde mehr als 463 K (190 °C) beträgt,
 - unmittelbar vor dem beheizten Filter (F2) auf dem HFID ständig eine Gastemperatur von 463 K (190 °C) \pm 10 K aufweisen.
- *HSL2: beheizte NO_x-Probenahmeleitung*

Die Probenahmeleitung muss

- bei Verwendung eines Kühlers bis hin zum Konverter und bei Nichtverwendung eines Kühlers bis hin zum Analysator auf einer Wandtemperatur von 328 bis 473 K (55 bis 200 °C) gehalten werden,
- aus rostfreiem Stahl oder Polytetrafluorethylen (PTFE) bestehen.

Da die Probenahmeleitung nur zur Verhinderung der Kondensation von Wasser und Schwefelsäure beheizt werden muss, hängt ihre Temperatur vom Schwefelgehalt des Kraftstoffs ab.

- *SL: Probenahmeleitung für CO (CO₂)*

Die Leitung muss aus PTFE oder rostfreiem Stahl bestehen. Sie kann beheizt oder unbeheizt sein.
- *BK: Hintergrundbeutel (wahlfrei, nur Abbildung 3)*

Zur Messung der Hintergrundkonzentrationen.
- *BG: Probenahmebeutel (wahlfrei, nur Abbildung 3, CO und CO₂)*

Zur Messung der Probenkonzentrationen.
- *F1: Beheiztes Vorfilter (wahlfrei)*

Sofern vorhanden, ist es auf der gleichen Temperatur zu halten wie HSL1.
- *F2: Beheiztes Filter*

Dieses Filter muss alle Feststoffteilchen aus der Gasprobe entfernen, bevor diese in den Analysator gelangt. Es muss die gleiche Temperatur aufweisen wie HSL1. Das Filter ist bei Bedarf zu wechseln.
- *P: Beheizte Probenahmepumpe*

Die Pumpe ist auf die Temperatur von HSL1 aufzuheizen.
- *HC*

Beheizter Flammenionisationsdetektor (HFID) zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe. Die Temperatur ist auf 453 bis 473 K (180 bis 200 °C) zu halten.
- *CO, CO₂*

NDIR-Analysatoren zur Bestimmung von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.
- *NO₂*

(H)CLD-Analysator zur Bestimmung der Stickoxide. Wird ein HCLD verwendet, so ist er auf einer Temperatur von 328 bis 473 K (55 bis 200 °C) zu halten.
- *C: Konverter*

Für die katalytische Reduktion von NO₂ zu NO vor der Analyse im CLD oder HCLD ist ein Konverter zu verwenden.
- *B: Kühler*

Zum Kühlen und Kondensieren von Wasser aus der Abgasprobe. Der Kühler ist durch Eis oder ein Kühlsystem auf einer Temperatur von 273 bis 277 K (0 °C bis 4 °C) zu halten. Der Kühler ist wahlfrei, wenn der Analysator keine Beeinträchtigung durch Wasserdampf - bestimmt nach Teil II Anlage 2 Abschnitte 1.9.1 und 1.9.2 - aufweist.

Die Verwendung chemischer Trockner zur Entfernung von Wasser aus der Probe ist nicht zulässig.
- *T1, T2, T3: Temperatursensor*

Zur Überwachung der Temperatur des Gasstromes.

- *T4: Temperatursensor*
Temperatur des NO₂-NO-Konverters.
- *T5: Temperatursensor*
Zur Überwachung der Temperatur des Kühlers.
- *G1, G2, G3: Druckmesser*
Zur Messung des Drucks in den Probenahmeleitungen.
- *R1, R2: Druckregler*
Zur Regelung des Luft- bzw. Kraftstoffdrucks für den HFID.
- *R3, R4, R5: Druckregler*
Zur Regelung des Drucks in den Probenahmeleitungen und des Durchflusses zu den Analysatoren.
- *FL1, FL2, FL3: Durchflussmesser*
Zur Überwachung des Bypass-Durchflusses der Probe.
- *FL4 bis FL7: Durchflussmesser (wahlfrei)*
Zur Überwachung des Durchflusses durch die Analysatoren.
- *V1 bis V6: Umschaltventil*
Geeignete Ventile zum wahlweisen Einleiten der Probe, von Kalibriergas oder zum Schließen der Zufuhrleitung in den Analysator.
- *V7, V8: Magnetventil*
Zur Umgehung des NO₂-NO-Konverters.
- *V9: Nadelventil*
Zum Ausgleichen des Durchflusses durch den NO₂-NO-Konverter und den Bypass.
- *V10, V11: Nadelventil*
Zum Regulieren des Durchflusses zu den Analysatoren.
- *V12, V13: Ablasshahn*
Zum Ablassen des Kondensats aus dem Kühler B.
- *V14: Umschaltventil*
Zur Auswahl von Probe- oder Hintergrundbeutel.

2 Bestimmung der Partikel

Die Abschnitte 2.1 und 2.2 und die Abbildungen 4 bis 15 vermitteln ausführliche Beschreibungen der empfohlenen Verdünnungs- und Probenahmesysteme. Da mit verschiedenen Anordnungen gleichwertige Ergebnisse erzielt werden können, ist eine genaue Übereinstimmung mit diesen Abbildungen nicht erforderlich. Es können zusätzliche Bauteile wie Instrumente, Ventile, Elektromagnete, Pumpen und Schalter verwendet werden, um weitere Informationen zu erlangen und die Funktionen der Teilsysteme zu koordinieren. Bei einigen Systemen kann auf manche Bauteile, die für die Aufrechterhaltung der Genauigkeit nicht erforderlich sind, verzichtet werden, wenn ihr Wegfall nach bestem technischen Ermessen begründet erscheint.

2.1 Verdünnungssystem

2.1.1 Teilstrom-Verdünnungssystem (Abbildungen 4 bis 12)

Es wird ein Verdünnungssystem beschrieben, das auf der Verdünnung eines Teils der Auspuffabgase beruht. Die Teilung des Abgasstroms und der nachfolgende Verdünnungsprozess können mit verschiedenen Typen von Verdünnungssystemen vorgenommen werden. Zur anschließenden Abscheidung der Partikel kann entweder das gesamte verdünnte Abgas oder nur ein Teil des verdünnten Abgases durch das Partikel-Probenahmesystem geleitet werden (Abschnitt 2.2, Abbildung 14). Die erste Methode wird als Gesamtprobenahme, die zweite als Teilprobenahme bezeichnet.

Die Errechnung des Verdünnungsverhältnisses hängt vom Typ des angewandten Systems ab. Empfohlen werden folgende Typen:

- *Isokinetische Systeme* (Abbildungen 4 und 5)

Bei diesen Systemen entspricht der in das Übertragungsrohr eingeleitete Strom von der Gasgeschwindigkeit und/oder vom Druck her dem Hauptabgasstrom, so dass ein ungehinderter und gleichmäßiger Abgasstrom an der Probenahmesonde erforderlich ist. Dies wird in der Regel durch Verwendung eines Resonators und eines geraden Rohrs stromaufwärts von der Probenahmestelle erreicht. Das Teilungsverhältnis wird anschließend anhand leicht messbarer Werte, wie z. B. Rohrdurchmesser, berechnet. Es ist zu beachten, dass die Isokinetik lediglich zur Angleichung der Durchflussbedingungen und nicht zur Angleichung der Größenverteilung verwendet wird. Letzteres ist in der Regel nicht erforderlich, da die Partikel so klein sind, dass sie den Stromlinien des Abgases folgen.

- *Systeme mit Durchflussregelung und Konzentrationsmessung* (Abbildungen 6 bis 10)

Bei diesen Systemen wird die Probe dem Hauptabgasstrom durch Einstellung des Verdünnungsluftdurchflusses und des Gesamtdurchflusses des verdünnten Abgases entnommen. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand der Konzentrationen von Tracergasen wie CO_2 oder NO_x bestimmt, die bereits in den Motorabgasen enthalten sind. Die Konzentrationen im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft werden gemessen, und die Konzentration im Rohabgas kann entweder direkt gemessen oder bei bekannter Kraftstoffzusammensetzung anhand des Kraftstoffdurchsatzes und der Kohlenstoffbilanzgleichung ermittelt werden. Die Systeme können auf der Grundlage des berechneten Verdünnungsverhältnisses (Abbildungen 6 und 7) oder auf der Grundlage des Durchflusses in das Übertragungsrohr (Abbildungen 8, 9 und 10) geregelt werden.

- *Systeme mit Durchflussregelung und Durchflussmessung* (Abbildungen 11 und 12)

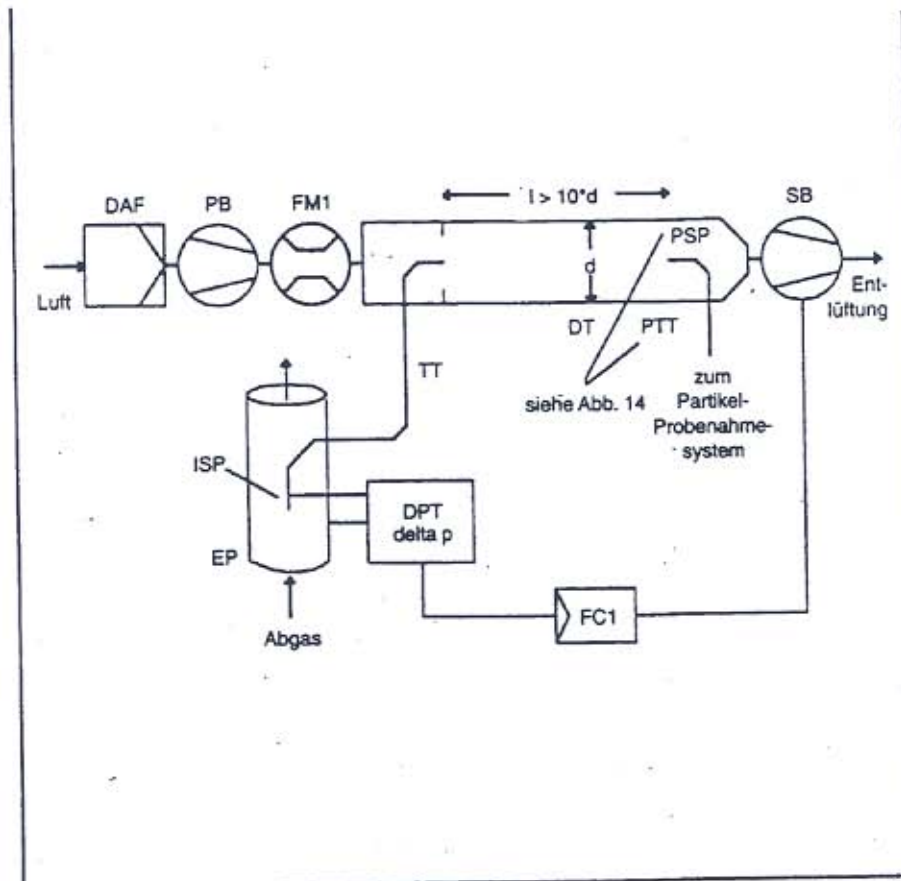
Bei diesen Systemen wird die Probe dem Hauptabgasstrom durch Einstellung des Verdünnungsluftdurchflusses und des Gesamtdurchflusses des verdünnten Abgases entnommen. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand der Differenz der beiden Durchsätze bestimmt. Die Durchflussmesser müssen aufeinander bezogen präzise kalibriert sein, da die relative Größe der beiden Durchsätze bei größeren Verdünnungsverhältnissen zu bedeutenden Fehlern führen kann (Abbildung 9 und oben). Die Durchflussregelung erfolgt sehr direkt, indem der Durchsatz des verdünnten Abgases konstant gehalten und der Verdünnungsluftdurchsatz bei Bedarf geändert wird.

Damit die Vorteile von Teilstrom-Verdünnungssystemen voll zum Tragen kommen, ist besondere Aufmerksamkeit auf die Vermeidung von Partikelverlusten im Übertragungsrohr, auf die Gewährleistung der Entnahme einer repräsentativen Probe aus dem Motorabgas und auf die Bestimmung des Teilungsverhältnisses zu richten.

Bei den beschriebenen Systemen werden diese kritischen Punkte berücksichtigt.

Abbildung 4

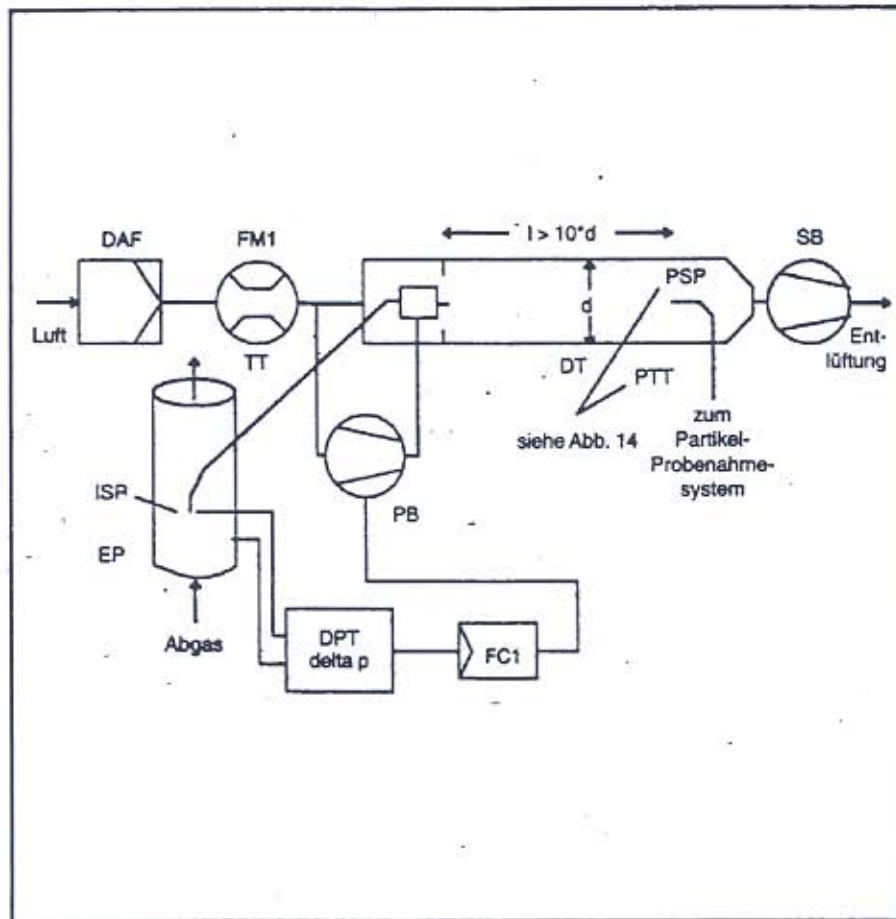
Teilstrom-Verdünnungssystem mit isokinetischer Sonde und Teilprobenahme (SB-Regelung)



Unverdünntes Abgas wird mit Hilfe der isokinetischen Probenahmesonde ISP aus dem Auspuffrohr EP durch das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Der Differenzdruck des Abgases zwischen Auspuffrohr und Sondeneinlass wird mit dem Differenzdruckaufnehmer DPT gemessen. Dieses Signal wird an den Durchflussregler FC1 übermittelt, der das Ansauggebläse SB so regelt, dass am Eintritt der Sonde ein Differenzdruck von Null aufrechterhalten wird. Unter diesen Bedingungen stimmen die Abgasgeschwindigkeiten in EP und ISP überein, und der Durchfluss durch ISP und TT ist ein konstanter Bruchteil des Abgasdurchflusses. Das Teilungsverhältnis wird anhand der Querschnittsflächen von EP und ISP bestimmt. Der Verdünnungsluftdurchsatz wird mit dem Durchflussmessgerät FM1 gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand des Verdünnungsluftdurchsatzes und des Teilungsverhältnisses berechnet.

Abbildung 5

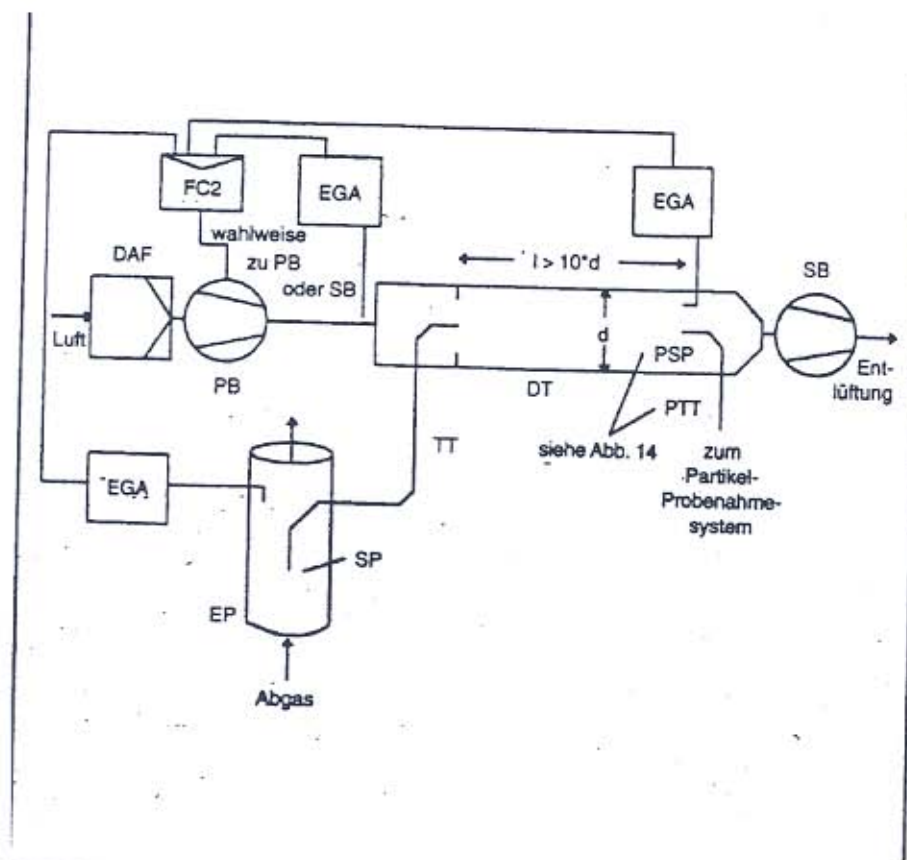
Teilstrom-Verdünnungssystem mit isokinetischer Sonde und Teilprobenahme (PB-Regelung)



Unverdünntes Abgas wird mit Hilfe der isokinetischen Probenahmesonde ISP aus dem Auspuffrohr EP durch das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Der Differenzdruck des Abgases zwischen Auspuffrohr und Sondeneinlass wird mit dem Differenzdruckaufnehmer DPT gemessen. Dieses Signal wird an den Durchflussregler FC1 übermittelt, der das Ansauggebläse SB so regelt, dass am Eintritt der Sonde ein Differenzdruck von Null aufrechterhalten wird. Dazu wird ein kleiner Teil der Verdünnungsluft, deren Durchsatz bereits mit dem Durchflussmessgerät FM1 gemessen wurde, entnommen und mit Hilfe einer pneumatischen Blende in das TT eingeleitet. Unter diesen Bedingungen stimmen die Abgasgeschwindigkeiten in EP und ISP überein, und der Durchfluss durch ISP und TT ist ein konstanter Bruchteil des Abgasstroms. Das Teilungsverhältnis wird anhand der Querschnittsflächen von EP und ISP bestimmt. Die Verdünnungsluft wird vom Ansauggebläse SB durch den DT gesogen und der Durchsatz mittels FM1 am Einlass zum DT gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand des Verdünnungsluftdurchsatzes und des Teilungsverhältnisses berechnet.

Abbildung 6

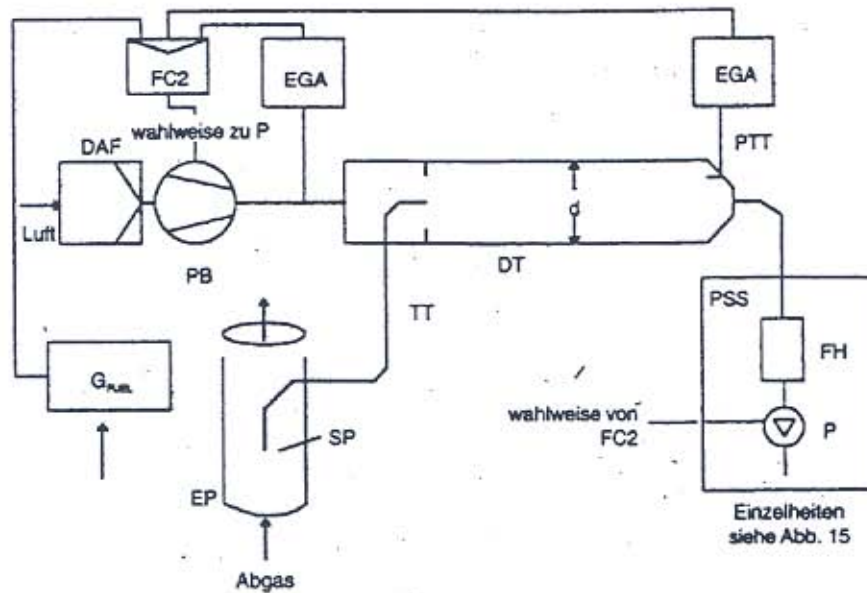
Teilstrom-Verdünnungssystem mit Messung von CO₂- oder NO_x-Konzentration und Teilprobenahme



Unverdünntes Abgas wird aus dem Auspuffrohr EP durch die Probenahmesonde SP und das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Die Konzentrationen eines Tracergases (CO₂ oder NO_x) werden mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA im unverdünnten und verdünnten Abgas sowie in der Verdünnungsluft gemessen. Diese Signale werden an den Durchflussregler FC2 übermittelt, der entweder das Druckgebläse PB oder das Ansauggebläse SB so regelt, dass im DT das gewünschte Teilungs- und Verdünnungsverhältnis des Abgases aufrechterhalten wird. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand der Konzentrationen des Tracergases im unverdünnten Abgas, im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft berechnet.

Abbildung 7

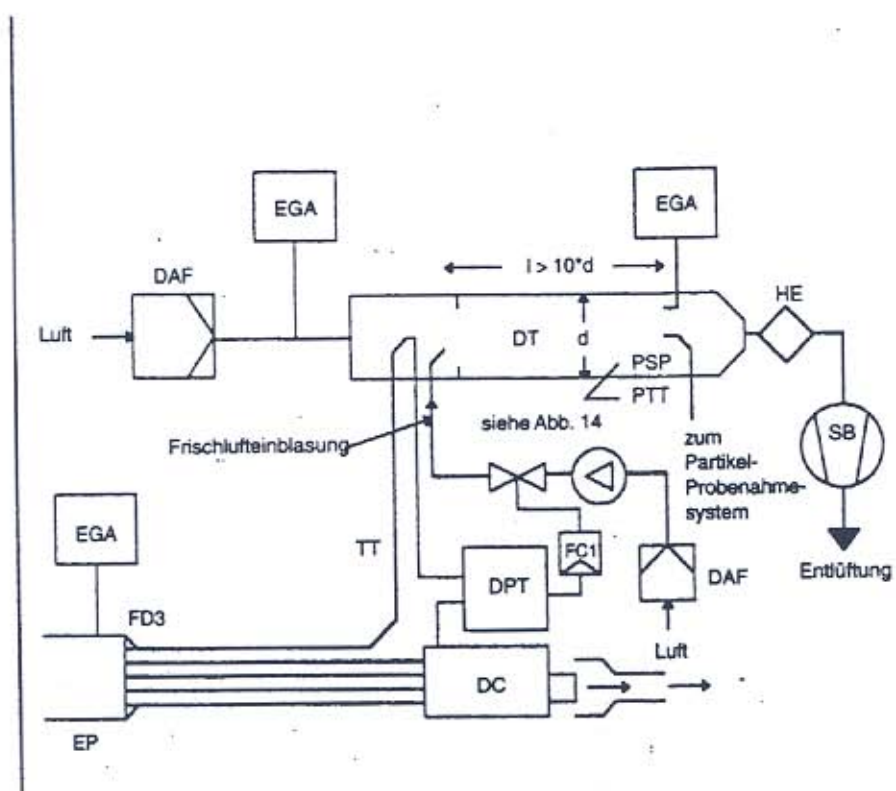
Teilstrom-Verdünnungssystem mit Messung von CO_2 -Konzentration, Kohlenstoffbilanz und Gesamtprobenahme



Unverdünntes Abgas wird aus dem Auspuffrohr EP durch die Probenahmesonde SP und das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Die CO_2 -Konzentrationen werden mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft gemessen. Die Signale über den CO_2 - und Kraftstoffdurchfluss G_{FUEL} werden entweder an den Durchflussregler FC2 oder an den Durchflussregler FC3 des Partikel-Probenahmesystems übermittelt (siehe Abbildung 14). FC2 regelt das Druckgebläse PB und FC3 das Partikel-Probenahmesystem (siehe Abbildung 14), wodurch die in das System eintretenden und es verlassenden Ströme so eingestellt werden, dass im DT das gewünschte Teilungs- und Verdünnungsverhältnis der Abgase aufrechterhalten wird. Das Verdünnungsverhältnis wird unter Verwendung der Kohlenstoffbilanzmethode anhand der CO_2 -Konzentrationen und des G_{FUEL} berechnet.

Abbildung 10

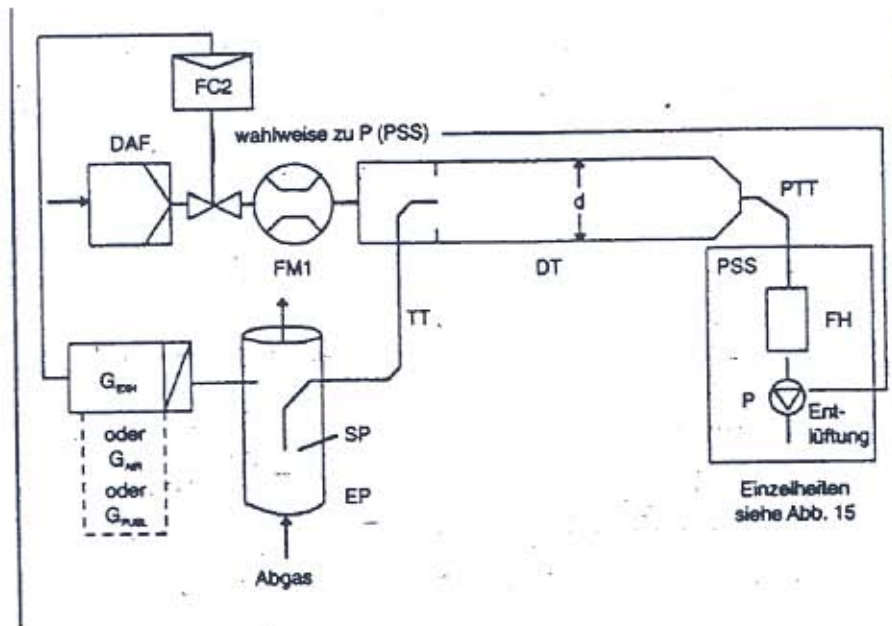
Teilstrom-Verdünnungssystem mit Mehrfachröhrenteilung, Konzentrationsmessung und Teilprobenahme



Unverdünntes Abgas wird aus dem Auspuffrohr EP durch die Probenahmesonde SP und das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet, und zwar mittels eines im EP angebrachten Mengenteilers, der aus einer Reihe von Röhren mit gleichen Abmessungen besteht (Durchmesser, Länge und Biegungshalbmesser gleich). Das durch eine dieser Röhren strömende Abgas wird zum DT geleitet, das durch die übrigen Röhren strömende Abgas wird durch die Dämpfungskammer DC geleitet. Die Abgasteilung wird also durch die Gesamtzahl der Röhren bestimmt. Eine konstante Teilungsregelung setzt zwischen der DC und dem Ausgang des TT einen Differenzdruck von Null voraus, der mit dem Differenzdruckaufnehmer DPT gemessen wird. Ein Differenzdruck von Null wird erreicht, indem in den DT am Ausgang des TT Frischluft eingespritzt wird. Die Konzentrationen des Tracergases (CO_2 oder NO_x) werden im unverdünnten Abgas, im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA gemessen. Sie werden zur Überprüfung der Abgasteilung benötigt und können zur Einstellung von PCV1 und PCV2 im Interesse einer präzisen Teilungsregelung verwendet werden. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand der Tracergaskonzentrationen berechnet.

Abbildung 11

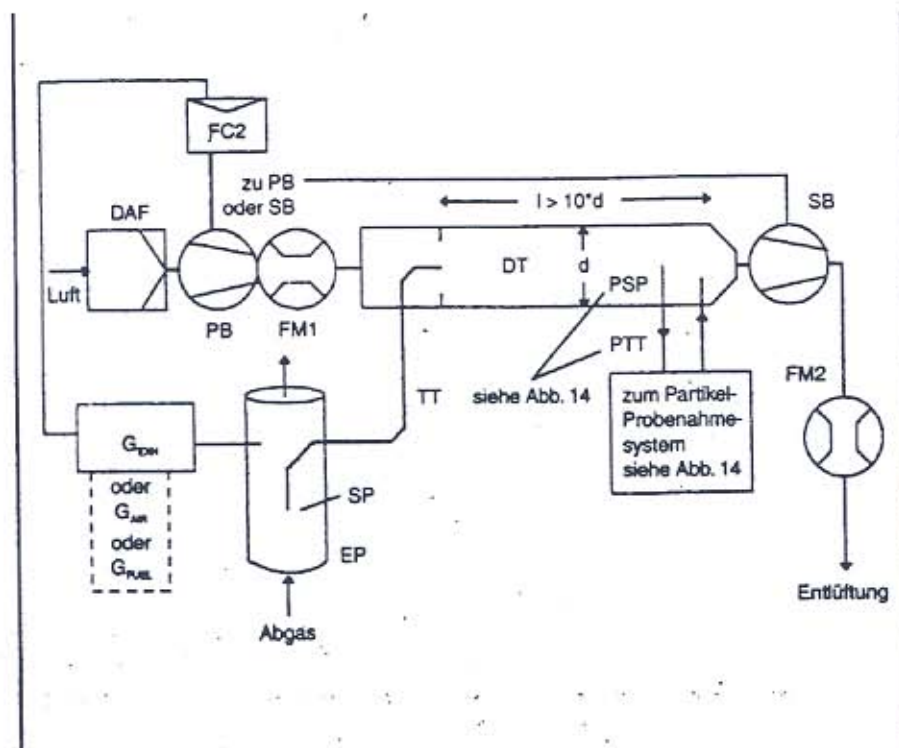
Teilstrom-Verdünnungssystem mit Durchflussregelung und Gesamtprobenahme



Unverdünntes Abgas wird aus dem Auspuffrohr EP durch die Probenahmesonde SP und das Übertragungsrohr TT in den Verdünnungstunnel DT geleitet. Der Gesamtdurchfluss durch den Tunnel wird mit dem Durchflussregler FC3 und der Probenahmepumpe P des Partikel-Probenahmesystems eingestellt (siehe Abbildung 16). Der Verdünnungsluftdurchfluss wird mit dem Durchflussregler FC2 geregelt, der G_{EXH} , G_{AIR} oder G_{FUEL} als Steuersignale zur Herbeiführung der gewünschten Abgasteilung verwenden kann. Der Probedurchfluss in den DT ist die Differenz aus dem Gesamtdurchfluss und dem Verdünnungsluftdurchfluss. Der Verdünnungsluftdurchsatz wird mit dem Durchflussmessgerät FM1 und der Gesamtdurchsatz mit dem Durchflussmessgerät FM3 des Partikel-Probenahmesystems gemessen (siehe Abbildung 14). Das Verdünnungsverhältnis wird anhand dieser beiden Durchsätze berechnet.

Abbildung 12

Teilstrom-Verdünnungssystem mit Durchflussregelung und Teilprobenahme



Unverdünntes Abgas wird aus dem Auspuffrohr EP durch die Probenahmesonde SP und das Übertragungsrohr TT in den Verdünnungstunnel DT geleitet. Die Abgasteilung und der Durchfluss in den DT werden mit dem Durchflussregler FC2 geregelt, der die Durchflüsse (oder Drehzahlen) des Druckgebläses PB und des Ansauggebläses SB entsprechend einstellt. Dies ist möglich, weil die mit dem Partikel-Probenahmesystem entnommene Probe in den DT zurückgeführt wird. Als Steuersignale für FC2 können G_{EXH} , G_{AIR} oder G_{FUEL} verwendet werden. Der Verdünnungsluftdurchsatz wird mit dem Durchflussmessgerät FM1, der Gesamtdurchsatz mit dem Durchflussmessgerät FM2 gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand dieser beiden Durchsätze berechnet.

Beschreibung - Abbildungen 4 bis 12

- EP: Auspuffrohr

Das Auspuffrohr kann isoliert sein. Zur Verringerung der Wärmeträgheit des Auspuffrohrs wird ein Verhältnis Stärke/Durchmesser von 0,015 oder weniger empfohlen. Die Verwendung flexibler Abschnitte ist auf ein Verhältnis Länge/Durchmesser von 12 oder weniger zu begrenzen. Biegungen sind auf ein Mindestmaß zu begrenzen, um Trägheitsablagerungen zu verringern. Gehört zu dem System ein Prüfstand-Schalldämpfer, so kann auch dieser isoliert werden.

Bei einem isokinetischen System muss das Auspuffrohr vom Eintritt der Sonde ab stromaufwärts mindestens sechs Rohrdurchmesser und stromabwärts drei Rohrdurchmesser frei von scharfen Krümmungen, Biegungen und plötzlichen Durchmesseränderungen sein. Die Gasgeschwindigkeit muss im Entnahmebereich höher als 10 m/s sein; dies gilt nicht für den Leerlauf. Druckschwankungen der Abgase dürfen im Durchschnitt ± 500 Pa nicht übersteigen. Jede Maßnahme zur Vermeidung der Druckschwankungen, die über die Verwendung einer Fahrzeug-Auspuffanlage (einschließlich Schalldämpfer und Nachbehandlungsanlage) hinausgeht, darf die Motorleistung nicht verändern und zu keiner Partikelablagerung führen.

Bei Systemen ohne isokinetische Sonde wird ein gerades Rohr empfohlen, das stromaufwärts vom Eintritt der Sonde den sechsfachen Rohrdurchmesser und stromabwärts von diesem Punkt den dreifachen Rohrdurchmesser haben muss.

- SP: Probenahmesonde (Abbildungen 6 bis 12)

Der Innendurchmesser muss mindestens 4 mm betragen. Das Verhältnis der Durchmesser von Auspuffrohr und Sonde muss mindestens vier betragen. Die Sonde muss eine offene Röhre sein, die der Strömungsrichtung zugewandt in der Mittellinie des Auspuffrohrs angebracht ist, oder es muss sich um eine Mehrlochsonde - wie unter SP1 in Abschnitt 1 beschrieben - handeln.

- ISP: Isokinetische Probenahmesonde (Abbildungen 4 und 5)

Die isokinetische Probenahmesonde ist der Strömungsrichtung zugewandt in der Mittellinie des Auspuffrohrs an einem Punkt anzubringen, an dem die im Abschnitt EP beschriebenen Strömungsbedingungen herrschen; sie ist so auszulegen, dass eine verhältnismäßige Probenahme aus dem unverdünnten Abgas gewährleistet ist. Der Innendurchmesser muss mindestens 12 mm betragen.

Ein Reglersystem ist erforderlich, damit durch Aufrechterhaltung eines Differenzdrucks von Null zwischen dem EP und der ISP eine isokinetische Abgasteilung erreicht wird. Unter diesen Bedingungen sind die Abgasgeschwindigkeiten im EP und in der ISP gleich, und der Massendurchfluss durch die ISP ist ein konstanter Bruchteil des Abgasstroms. Die ISP muss an einen Differenzdruckaufnehmer angeschlossen werden. Die Regelung, mit der zwischen dem EP und der ISP ein Differenzdruck von Null erreicht wird, erfolgt über die Drehzahl des Gebläses oder über den Durchflussregler.

- FD1, FD2: Mengenteiler (Abbildung 9)

Ein Paar Venturi-Rohre oder Blenden wird im Auspuffrohr EP bzw. im Übertragungsrohr TT angebracht, damit eine verhältnismäßige Probenahme aus dem unverdünnten Abgas gewährleistet ist. Das aus den beiden Druckregelventilen PCV1 und PCV2 bestehende Reglersystem wird benötigt, damit eine verhältnismäßige Aufteilung mittels Regelung der Drücke im EP und DT erfolgen kann.

- *FD3: Mengenteiler* (Abbildung 10)

Ein Satz Röhren (Mehrfachröhreneinheit) wird im Auspuffrohr EP angebracht, damit eine verhältnismäßige Probenahme aus dem unverdünnten Abgas gewährleistet ist. Eine dieser Röhren leitet Abgas zum Verdünnungstunnel DT, das Abgas aus den übrigen Röhren strömt in eine Dämpfungskammer DC. Die Röhren müssen gleiche Abmessungen aufweisen (Durchmesser, Länge, Biegungshalbmesser gleich); demzufolge ist die Abgasteilung von der Gesamtzahl der Röhren abhängig. Ein Reglersystem wird benötigt, damit durch Aufrechterhaltung eines Differenzdrucks von Null zwischen der Einmündung der Mehrfachröhreneinheit in die DC und dem Ausgang des TT eine verhältnismäßige Aufteilung erfolgen kann. Unter diesen Bedingungen herrschen im EP und in FD3 proportionale Abgasgeschwindigkeiten, und der Durchfluss im TT ist ein konstanter Bruchteil des Abgasdurchflusses. Die beiden Punkte müssen an einen Differenzdruckaufnehmer DPT angeschlossen sein. Die Regelung zur Herstellung eines Differenzdrucks von Null erfolgt über den Durchflussregler FC1.

- *EGA: Abgasanalysator* (Abbildungen 6 bis 10)

Es können CO₂- oder NO_x-Analysatoren verwendet werden (bei der Kohlenstoffbilanzmethode nur CO₂-Analysatoren). Die Analysatoren sind ebenso zu kalibrieren wie die Analysatoren für die Messung der gasförmigen Emissionen. Ein oder mehrere Analysatoren können zur Bestimmung der Konzentrationsunterschiede verwendet werden.

Die Meßsysteme müssen eine solche Genauigkeit aufweisen, dass die Genauigkeit von $G_{EDFW,j}$ oder $V_{EDFW,j} \pm 4 \%$ beträgt.

- *TT: Übertragungsrohr* (Abbildungen 4 bis 12)

Das Übertragungsrohr für die Partikelprobe muss

- so kurz wie möglich, jedoch nicht länger als 5 m sein,
- einen Durchmesser haben, der gleich dem Durchmesser der Sonde oder größer, jedoch nicht größer als 25 mm ist,
- den Ausgang in der Mittellinie des Verdünnungstunnels haben und in Strömungsrichtung zeigen.

Rohre von einer Länge bis zu einem Meter sind mit einem Material zu isolieren, dessen maximale Wärmeleitfähigkeit 0,05 W/(m × K) beträgt, wobei die Stärke der Isolierschicht dem Durchmesser der Sonde entspricht. Rohre von mehr als einem Meter Länge sind zu isolieren und so zu beheizen, dass die Wandtemperatur mindestens 523 K (250 °C) beträgt.

Wahlweise können die erforderlichen Wandtemperaturen des Übertragungsrohrs auch durch Standardberechnungen der Wärmeübertragung bestimmt werden.

- *DPT: Differenzdruckaufnehmer* (Abbildungen 4, 5 und 10)

Der größte Meßbereich des Differenzdruckaufnehmers muss ± 500 Pa betragen.

- *FC1: Durchflussregler* (Abbildungen 4, 5 und 10)

Bei den isokinetischen Systemen (Abbildungen 4 und 5) wird der Durchflussregler zur Aufrechterhaltung eines Differenzdrucks von Null zwischen dem EP und der ISP benötigt. Die Einstellung kann folgendermaßen erfolgen:

- a) durch Regelung der Drehzahl oder des Durchflusses des Ansauggebläses (SB) und Konstanthalten der Drehzahl des Druckgebläses (PB) bei jeder Prüfphase (Abbildung 4)

oder

- b) durch Einstellung des Ansauggebläses (SB) auf einen konstanten Massendurchfluss des verdünnten Abgases und Regelung des Durchflusses des Druckgebläses PB, wodurch der Durchfluss der Abgasprobe in einem Bereich am Ende des Übertragungsrohrs (TT) geregelt wird (Abbildung 5).

Bei Systemen mit geregelterm Druck darf der verbleibende Fehler in der Steuerschleife ± 3 Pa nicht übersteigen. Die Druckschwankungen im Verdünnungstunnel dürfen im Durchschnitt ± 250 Pa nicht übersteigen.

Bei Mehrfachröhrensystemen (Abbildung 10) wird der Durchflussregler zur Aufrechterhaltung eines Differenzdrucks von Null zwischen dem Auslass der Mehrfachröhreneinheit und dem Ausgang des TT benötigt, damit der Abgasstrom verhältnismäßig aufgeteilt wird. Die Einstellung kann durch Regelung des Durchsatzes der eingeblasenen Luft erfolgen, die am Ausgang des TT in den DT einströmt.

- *PCV1, PCV2: Druckregelventile* (Abbildung 9)

Zwei Druckregelventile werden für das Doppelventuri-/Doppelblenden-System benötigt, damit durch Regelung des Gegendrucks des EP und des Drucks im DT eine verhältnismäßige Stromteilung erfolgen kann. Die Ventile müssen sich stromabwärts der SP im EP und zwischen PB und DT befinden.

- *DC: Dämpfungskammer* (Abbildung 10)

Am Ausgang des Mehrfachröhrensystems ist eine Dämpfungskammer anzubringen, um die Druckschwankungen im Auspuffrohr EP so gering wie möglich zu halten.

- *VN: Venturi-Rohr* (Abbildung 8)

Ein Venturi-Rohr wird im Verdünnungstunnel DT angebracht, um im Bereich des Ausgangs des Übertragungsrohrs TT einen Unterdruck zu erzeugen. Der Gasdurchsatz im TT wird durch den Impulsaustausch im Venturibereich bestimmt und ist im Grund dem Durchsatz des Druckgebläses PB proportional, so dass ein konstantes Verdünnungsverhältnis erzielt wird. Da der Impulsaustausch von der Temperatur am Ausgang des TT und vom Druckunterschied zwischen dem EP und dem DT beeinflusst wird, ist das tatsächliche Verdünnungsverhältnis bei geringer Last etwas kleiner als bei hoher Last.

- *FC2: Durchflussregler* (Abbildungen 6, 7, 11 und 12; wahlfrei)

Zur Durchflussregelung am Druckgebläse PB und/oder Ansauggebläse SB kann ein Durchflussregler verwendet werden. Er kann an den Abgasstrom- oder den Kraftstrom- und/oder an den CO₂- oder NO_x-Differenzsignalgeber angeschlossen sein.

Wird ein Druckluftversorgungssystem (Abbildung 11) verwendet, regelt der FC2 unmittelbar den Luftstrom.

- *FM1: Durchflussmessgerät* (Abbildungen 6, 7, 11 und 12)

Gasmessgerät oder sonstiges Durchflussmessgerät zur Messung des Verdünnungsluftdurchflusses. FM1 ist wahlfrei, wenn das PB für die Durchflussmessung kalibriert ist.

- *FM2: Durchflussmessgerät* (Abbildung 12)

Gasmessgerät oder sonstiges Durchflussmessgerät zur Messung des Durchflusses des verdünnten Abgases. FM2 ist wahlfrei, wenn das Ansauggebläse SB für die Durchflussmessung kalibriert ist.

- *PB: Druckgebläse* (Abbildungen 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 12)

Zur Steuerung des Verdünnungsluftdurchsatzes kann das PB an die Durchflussregler FC1 und FC2 angeschlossen sein. Ein PB ist nicht erforderlich, wenn eine Absperrklappe verwendet wird. Ist das PB kalibriert, kann es zur Messung des Verdünnungsluftdurchflusses verwendet werden.

- *SB: Ansauggebläse* (Abbildungen 4, 5, 6, 9, 10 und 12)

Nur für Teilprobenahmesysteme. Ist das SB kalibriert, kann es zur Messung des Durchflusses des verdünnten Abgases verwendet werden.

- *DAF: Verdünnungsluftfilter* (Abbildungen 4 bis 12)

Es wird empfohlen, die Verdünnungsluft zu filtern und durch Aktivkohle zu leiten, damit Hintergrund-Kohlenwasserstoffe entfernt werden. Die Verdünnungsluft muss eine Temperatur von 298 K (25 °C) \pm 5 K haben.

Auf Antrag des Herstellers ist nach guter technischer Praxis eine Verdünnungsluftprobe zur Bestimmung des Raumluft-Partikelgehalts zu nehmen, der dann von den in den verdünnten Abgasen gemessenen Werten abgezogen werden kann.

- *PSP: Partikel-Probenahmesonde* (Abbildungen 4, 5, 6, 8, 9, 10 und 12)

Die Sonde bildet den vordersten Abschnitt des PTT und

- muss gegen den Strom gerichtet an einem Punkt angebracht sein, wo die Verdünnungsluft und die Abgase gut vermischt sind, d. h. in der Mittellinie des Verdünnungstunnels DT ungefähr 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, wo die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten;
- muss einen Mindestdurchmesser von 12 mm haben;
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

- *DT: Verdünnungstunnel* (Abbildungen 4 bis 12)

Der Verdünnungstunnel

- muss so lang sein, dass sich die Abgase bei turbulenten Strömungsbedingungen vollständig mit der Verdünnungsluft mischen können;
- muss aus rostfreiem Stahl bestehen und
 - bei Verdünnungstunneln mit einem Innendurchmesser über 75 mm ein Verhältnis Stärke/Durchmesser von höchstens 0,025 aufweisen,
 - bei Verdünnungstunneln mit einem Innendurchmesser bis zu 75 mm eine nominelle Wanddicke von mindestens 1,5 mm haben;
- muss bei einem Teilprobenahmesystem einen Durchmesser von mindestens 75 mm haben;
- sollte bei einem Gesamtsystem möglichst einen Durchmesser von mindestens 25 mm haben;
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

Die Motorabgase müssen gründlich mit der Verdünnungsluft vermischt werden. Bei Teilprobenahmesystemen ist die Mischqualität nach Inbetriebnahme bei laufendem Motor mittels eines CO₂-Profils des Tunnels zu überprüfen (mindestens vier gleichmäßig verteilte Messpunkte). Bei Bedarf kann eine Mischblende verwendet werden.

Anmerkung: Beträgt die Umgebungstemperatur in der Nähe des Verdünnungstunnels (DT) weniger als 293 K (20 °C), so sollte für eine Vermeidung von Partikelverlusten an den kühlen Wänden des Verdünnungstunnels gesorgt werden. Daher wird eine Beheizung und/oder Isolierung des Tunnels innerhalb der oben angegebenen Grenzwerte empfohlen.

Bei hoher Motorlast kann der Tunnel durch nichtaggressive Mittel wie beispielsweise einen Umlüfter gekühlt werden, solange die Temperatur des Kühlmittels nicht weniger als 293 K (20 °C) beträgt.

- HE: Wärmeaustauscher (Abbildungen 9 und 10)

Der Wärmeaustauscher muss eine solche Leistung aufweisen, dass die Temperatur am Einlass zum Ansauggebläse SB von der bei der Prüfung beobachteten durchschnittlichen Betriebstemperatur um höchstens ± 11 K abweicht.

2.1.2 Vollstrom-Verdünnungssystem (Abbildung 13)

Es wird ein Verdünnungssystem beschrieben, das unter Verwendung des CVS-Konzepts (Constant Volume Sampling) auf der Verdünnung des gesamten Abgasstroms beruht. Das Gesamtvolumen des Gemischs aus Abgas und Verdünnungsluft muss gemessen werden. Es kann entweder ein PDP- oder ein CFV-System verwendet werden.

Für die anschließende Sammlung der Partikel wird eine Probe des verdünnten Abgases durch das Partikel-Probenahmesystem geleitet (Abschnitt 2.2, Abbildungen 14 und 15). Geschieht dies direkt, spricht man von Einfachverdünnung. Wird die Probe in einem Sekundärverdünnungstunnel erneut verdünnt, spricht man von Doppelverdünnung. Letztere ist dann von Nutzen, wenn die Vorschriften in bezug auf die Filteranströmtemperatur bei Einfachverdünnung nicht eingehalten werden können. Obwohl es sich beim Doppelverdünnungssystem zum Teil um ein Verdünnungssystem handelt, wird es in Abschnitt 2.2, Abbildung 15, als Unterart eines Partikel-Probenahmesystems beschrieben, da es die meisten typischen Bestandteile eines Partikel-Probenahmesystems aufweist.

Die gasförmigen Emissionen können auch im Verdünnungstunnel eines Vollstrom-Verdünnungssystems bestimmt werden. Daher werden die Probenahmesonden für die gasförmigen Bestandteile in Abbildung 13 dargestellt, erscheinen jedoch nicht bei den Beschreibungen. Die entsprechenden Vorschriften sind in Abschnitt 1 dargelegt.

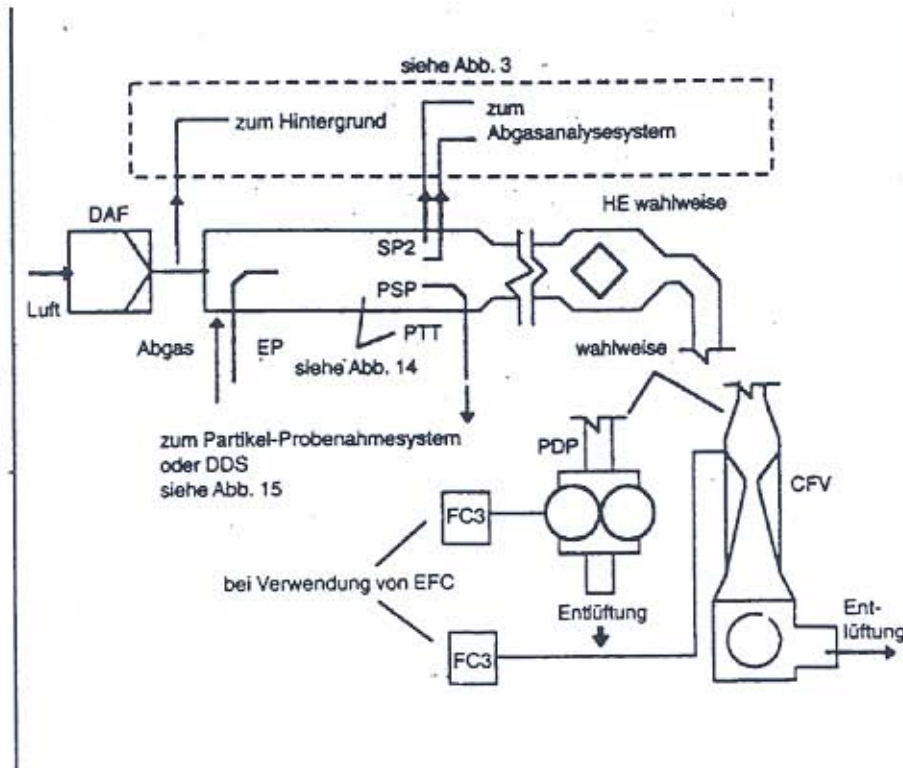
Beschreibung - Abbildung 13

- EP: Auspuffrohr

Die Länge des Auspuffrohrs vom Auslass des Auspuffkrümmers, des Turboladers oder der Nachbehandlungseinrichtung bis zum Verdünnungstunnel darf nicht mehr als 10 m betragen. Überschreitet die Länge des Systems 4 m, sind über diesen Grenzwert hinaus alle Rohre mit Ausnahme eines etwaigen im Auspuffsystem befindlichen Rauchmessgerätes zu isolieren. Die Stärke der Isolierschicht muss mindestens 25 mm betragen. Die Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials darf, bei 673 K (400 °C) gemessen, höchstens 0,1 W/(m × K) betragen. Um die Wärmeträgheit des Auspuffrohrs zu verringern, wird ein Verhältnis Stärke/Durchmesser von höchstens 0,015 empfohlen. Die Verwendung flexibler Abschnitte ist auf ein Verhältnis Stärke/Durchmesser von höchstens 12 zu begrenzen.

Abbildung 13

Vollstrom-Verdünnungssystem



Die Gesamtmenge des unverdünnten Abgases wird im Verdünnungstunnel DT mit der Verdünnungsluft vermischt.

Der Durchsatz des verdünnten Abgases wird entweder mit einer Verdrängerpumpe PDP oder mit einem Venturi-Rohr mit kritischer Strömung CFV gemessen. Ein Wärmeaustauscher HE oder eine elektronische Durchflussmengenkompensation EFC kann für eine verhältnismäßige Partikel-Probenahme und für die Durchflussbestimmung verwendet werden. Da die Bestimmung der Partikelmasse auf dem Gesamtdurchfluss des verdünnten Abgases beruht, ist die Berechnung des Verdünnungsverhältnisses nicht erforderlich.

- PDP: Verdrängerpumpe

Die PDP misst den Gesamtdurchfluss des verdünnten Abgases aus der Anzahl der Pumpenumdrehungen und dem Pumpenkammervolumen. Der Abgasgegendruck darf durch die PDP oder das Verdünnungslufteinlasssystem nicht künstlich gesenkt werden. Der mit laufendem CVS-System gemessene statische Abgasgegendruck muss bei einer Toleranz von $\pm 1,5$ kPa im Bereich des statischen Drucks bleiben, der bei gleicher Motordrehzahl und Belastung ohne Anschluss an das CVS gemessen wurde.

Die unmittelbar vor der PDP gemessene Temperatur des Gasgemischs muss bei einer Toleranz von ± 6 K innerhalb des Durchschnittswerts der während der Prüfung ermittelten Betriebstemperatur bleiben, wenn keine Durchflussmengenkompensation erfolgt.

Eine Durchflussmengenkompensation darf nur angewendet werden, wenn die Temperatur am Einlass der PDP 323 K (50 °C) nicht überschreitet.

- *CFV: Venturi-Rohr mit kritischer Strömung*

Das CFV wird zur Messung des Gesamtdurchflusses des verdünnten Abgases unter Sättigungsbedingungen (kritische Strömung) benutzt. Der mit dem im Betrieb befindlichen CFV-System gemessene statische Abgasgegendruck muss bei einer Toleranz von $\pm 1,5$ kPa im Bereich des statischen Drucks bleiben, der bei gleicher Motordrehzahl und Belastung ohne Anschluss an das CFV gemessen wurde. Die unmittelbar vor dem CFV gemessene Temperatur des Gasgemischs muss bei einer Toleranz von ± 11 K innerhalb des Durchschnittswerts der während der Prüfung ermittelten Betriebstemperatur bleiben, wenn keine Durchflussmengenkompensation erfolgt.

- *HE: Wärmeaustauscher (bei Anwendung von EFC wahlfrei)*

Die Leistung des Wärmeaustauschers muss ausreichen, um die Temperatur innerhalb der obengenannten Grenzwerte zu halten.

- *EFC: Elektronische Durchflusskompensation (bei Anwendung eines HE wahlfrei)*

Wird die Temperatur an der Einlassöffnung der PDP oder des CFV nicht konstant gehalten, ist zum Zweck einer kontinuierlichen Messung der Durchflussmenge und zur Regelung der verhältnismäßigen Probenahme im Partikelsystem ein elektronisches Durchflusskompensations-System erforderlich.

Daher werden die Signale des kontinuierlich gemessenen Durchsatzes verwendet, um den Probendurchsatz durch die Partikelfilter des Partikel-Probenahmesystems entsprechend zu korrigieren (siehe Abbildungen 14 und 15).

- *DT: Verdünnungstunnel*

Der Verdünnungstunnel

- muss einen genügend kleinen Durchmesser haben, um eine turbulente Strömung zu erzeugen (Reynolds-Zahl größer als 4 000), und hinreichend lang sein, damit sich die Abgase mit der Verdünnungsluft vollständig vermischen. Eine Mischblende kann verwendet werden;
- muss einen Durchmesser von mindestens 75 mm haben;
- kann isoliert sein.

Die Motorabgase sind an dem Punkt, wo sie in den Verdünnungstunnel einströmen, stromabwärts zu richten und vollständig zu mischen.

Bei Einfachverdünnung wird eine Probe aus dem Verdünnungstunnel in das Partikel-Probenahmesystem geleitet (Abschnitt 2.2, Abbildung 14). Die Durchflussleistung der PDP oder des CFV muss ausreichend sein, um die Temperatur des verdünnten Abgasstroms unmittelbar von dem Primärpartikelfilter auf weniger oder gleich 325 K (52 °C) zu halten.

Bei Doppelverdünnung wird eine Probe aus dem Verdünnungstunnel zur weiteren Verdünnung in den Sekundärtunnel und darauf durch die Probenahmefilter geleitet (Abschnitt 2.2, Abbildung 15).

Die Durchflussleistung des PDP oder des CFV muss ausreichend sein, um die Temperatur des verdünnten Abgasstroms im DT im Probenahmebereich auf weniger oder gleich 464 K (191 °C) zu halten. Das Sekundärverdünnungssystem muss genug Sekundärverdünnungsluft liefern, damit der doppelt verdünnte Abgasstrom unmittelbar vor dem Primärpartikelfilter auf einer Temperatur von weniger oder gleich 325 K (52 °C) gehalten werden kann.

- *DAF: Verdünnungsluftfilter*

Es wird empfohlen, die Verdünnungsluft zu filtern und durch Aktivkohle zu leiten, damit Hintergrund-Kohlenwasserstoffe entfernt werden. Die Verdünnungsluft muss eine Temperatur von 298 K (25 °C) \pm 5 K haben. Auf Antrag des Herstellers ist nach guter technischer Praxis eine Verdünnungsluftprobe zur Bestimmung des Raumluft-Partikelgehalts zu nehmen, der dann von den in den verdünnten Abgasen gemessenen Werten abgezogen werden kann.

- *PSP: Partikel-Probenahmesonde*

Die Sonde bildet den vordersten Abschnitt des PTT und

- muss gegen den Strom gerichtet an einem Punkt angebracht sein, wo die Verdünnungsluft und die Abgase gut vermischt sind, d. h. in der Mittellinie des Verdünnungstunnels DT ungefähr 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, wo die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten;
- muss einen Innendurchmesser von mindestens 12 mm haben;
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

2.2 *Partikel-Probenahmesystem* (Abbildungen 14 und 15)

Das Partikel-Probenahmesystem wird zur Sammlung der Partikel auf dem Partikelfilter benötigt. Im Fall von Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Gesamtprobenahme, bei denen die gesamte Probe des verdünnten Abgases durch die Filter geleitet wird, bilden das Verdünnungssystem (Abschnitt 2.1.1, Abbildungen 7 und 11) und das Probenahmesystem in der Regel eine Einheit. Im Fall von Teilstrom- oder Vollstrom-Verdünnungssystemen mit Teilprobenahme, bei denen nur ein Teil des verdünnten Abgases durch die Filter geleitet wird, sind das Verdünnungssystem (Abschnitt 2.1.1, Abbildungen 4, 5, 6, 8, 9, 10 und 12, sowie Abschnitt 2.1.2, Abbildung 13) und das Probenahmesystem in der Regel getrennte Einheiten.

In dieser Richtlinie gilt das Doppelverdünnungssystem (DVS, Abbildung 15) eines Vollstrom-Verdünnungssystems als spezifische Unterart eines typischen Partikel-Probenahmesystems, wie es in Abbildung 14 dargestellt ist. Das Doppelverdünnungssystem enthält alle wichtigen Bestandteile eines Partikel-Probenahmesystems, wie beispielsweise Filterhalter und Probenahmepumpe, und darüber hinaus einige Merkmale eines Verdünnungssystems, wie beispielsweise die Verdünnungsluftzufuhr und einen Sekundär-Verdünnungstunnel.

Um eine Beeinflussung der Steuerschleifen zu vermeiden, wird empfohlen, die Probenahmepumpe während des gesamten Prüfverfahrens in Betrieb zu lassen. Bei der Einfachfiltermethode ist ein Bypass-System zu verwenden, um die Probe zu den gewünschten Zeitpunkten durch die Probenahmefilter zu leiten. Beeinträchtigungen des Schaltvorganges an den Steuerschleifen sind auf ein Mindestmaß zu begrenzen.

Beschreibung - Abbildungen 14 und 15

- *PSP: Partikel-Probenahmesonde* (Abbildungen 14 und 15)

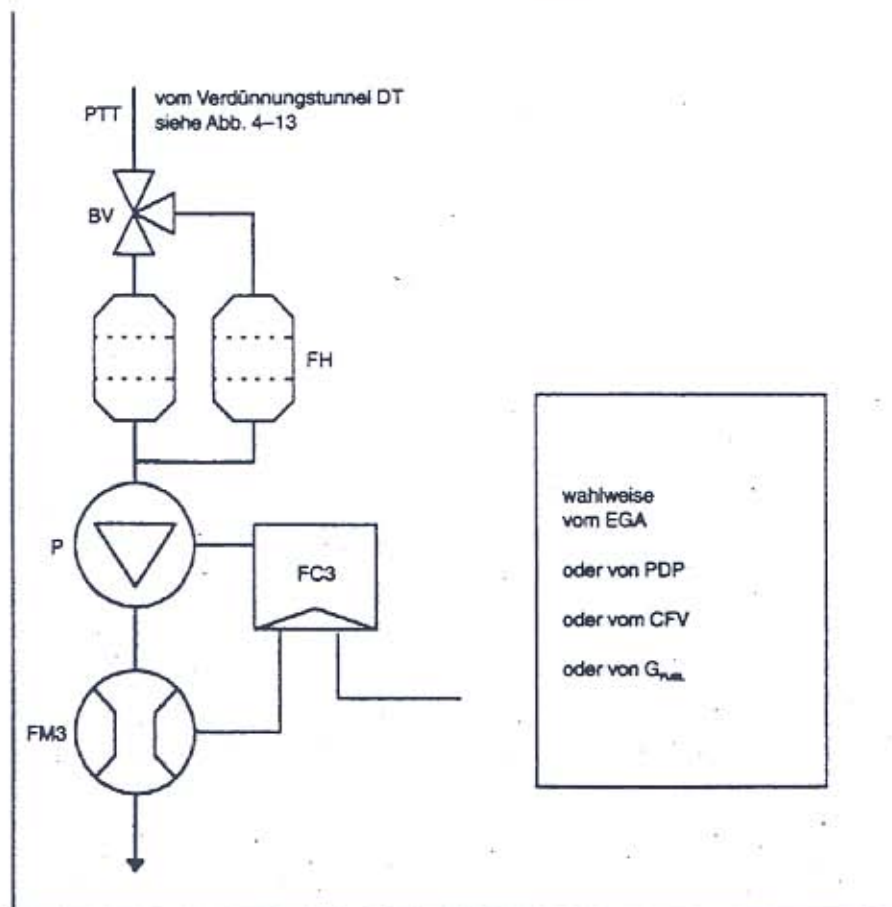
Die in den Abbildungen dargestellte Probenahmesonde bildet den vordersten Abschnitt des Partikelübertragungsrohrs PTT.

Die Sonde

- muss gegen den Strom gerichtet an einem Punkt angebracht sein, wo die Verdünnungsluft und die Abgase gut vermischt sind, d. h. in der Mittellinie des Verdünnungstunnels DT des Verdünnungssystems (siehe Abschnitt 2.1) ungefähr 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, wo die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten;
- muss einen Innendurchmesser von mindestens 12 mm haben;
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

Abbildung 14

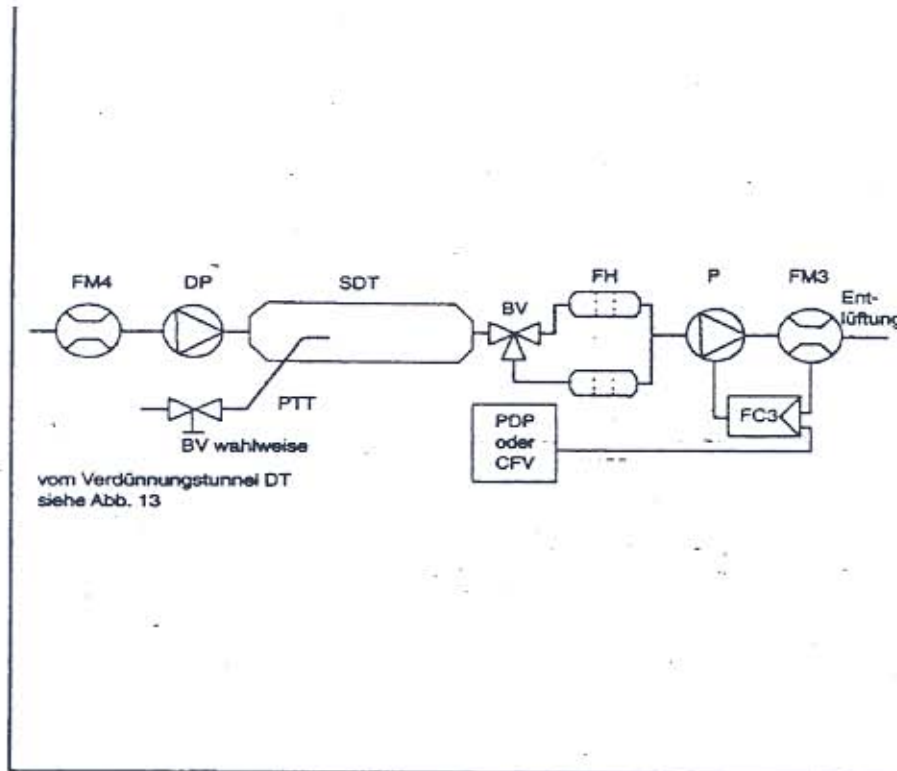
Partikel-Probenahmesystem



Eine Probe des verdünnten Abgases wird mit Hilfe der Probenahmepumpe P durch die Partikel-Probenahmesonde PSP und das Partikelübertragungsrohr PTT aus dem Verdünnungstunnel DT eines Teilstrom- oder Vollstrom-Verdünnungssystems entnommen. Die Probe wird durch den (die) Filterhalter FH geleitet, in dem (denen) die Partikel-Probenahmefilter enthalten sind. Der Probendurchsatz wird mit dem Durchflussregler FC3 geregelt. Bei Verwendung der elektronischen Durchflussmengenkompensation EFC (siehe Abbildung 13) dient der Durchfluss des verdünnten Abgases als Steuersignal für FC3.

Abbildung 15

Verdünnungssystem (nur Vollstromsystem)



Eine Probe des verdünnten Abgases wird durch die Partikel-Probenahmesonde PSP und das Partikelübertragungsrohr PTT aus dem Verdünnungstunnel DT eines Vollstrom-Verdünnungssystems in den Sekundärverdünnungstunnel SDT geleitet und dort nochmals verdünnt. Anschließend wird die Probe durch den (die) Filterhalter geleitet, in dem (denen) die Partikel-Probenahmefilter enthalten sind. Der Verdünnungsluftdurchsatz ist in der Regel konstant, während der Probendurchsatz mit dem Durchflussregler FC3 geregelt wird. Bei Verwendung der elektronischen Durchflussmengenkompensation EFC (siehe Abbildung 13) dient der Durchfluss des gesamten verdünnten Abgases als Steuersignal für FC3.

- PTT: Partikelübertragungsrohr (Abbildungen 14 und 15)

Das Partikelübertragungsrohr darf höchstens 1 020 mm lang sein; seine Länge ist so gering wie möglich zu halten. Die Abmessungen betreffen

- beim Teilstrom-Verdünnungssystem mit Teilprobenahme und beim Vollstrom-Einfachverdünnungssystem den Teil vom Sondeneintritt bis zum Filterhalter,
- beim Teilstrom-Verdünnungssystem mit Gesamtprobenahme den Teil vom Ende des Verdünnungstunnels bis zum Filterhalter,
- beim Vollstrom-Doppelverdünnungssystem den Teil vom Sondeneintritt bis zum Sekundärverdünnungstunnel.

Das Übertragungsrohr

- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

- *SDT: Sekundärverdünnungstunnel* (Abbildung 15)

Der Sekundärverdünnungstunnel sollte einen Durchmesser von mindestens 75 mm haben und so lang sein, dass die doppelt verdünnte Probe mindestens 0,25 Sekunden in ihm verweilt. Die Halterung des Hauptfilters FH darf sich in nicht mehr als 300 mm Abstand vom Ausgang des SDT befinden.

Der Sekundärverdünnungstunnel

- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

- *FH: Filterhalter* (Abbildungen 14 und 15)

Für die Haupt- und Nachfilter dürfen entweder ein einziger Filterhalter oder separate Filterhalter verwendet werden. Die Vorschriften von Teil II Anlage 1 Abschnitt 5.1.3 müssen eingehalten werden.

Die Filterhalter

- können durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur 325 K (52 °C) nicht übersteigt,
- können isoliert sein.

- *P: Probenahmepumpe* (Abbildungen 14 und 15)

Die Partikel-Probenahmepumpe muss so weit vom Tunnel entfernt sein, dass die Temperatur der einströmenden Gase konstant gehalten wird (± 3 K), wenn keine Durchflusskorrektur mittels FC3 erfolgt.

- *DP: Verdünnungsluftpumpe* (Abbildung 15) (nur bei Vollstrom-Doppelverdünnung)

Die Verdünnungsluftpumpe ist so anzuordnen, dass die sekundäre Verdünnungsluft mit einer Temperatur von 298 K (25 °C) ± 5 K zugeführt wird.

- *FC3: Durchflussregler* (Abbildungen 14 und 15)

Um eine Kompensation des Durchsatzes der Partikelprobe entsprechend von Temperatur- und Gegendruckschwankungen im Probenweg zu erreichen, ist, falls keine anderen Mittel zur Verfügung stehen, ein Durchflussregler zu verwenden. Bei Anwendung der elektronischen Durchflusskompensation EFC (siehe Abbildung 13) ist der Durchflussregler Vorschrift.

- *FM3: Durchflussmessgerät* (Abbildungen 14 und 15) (Durchfluss der Partikelprobe)

Das Gasmess- oder Durchflussmessgerät muss so weit von der Probenahmepumpe entfernt sein, dass die Temperatur des einströmenden Gases konstant bleibt (± 3 K), wenn keine Durchflusskorrektur durch FC3 erfolgt.

- *FM4: Durchflussmessgerät* (Abbildung 15) (Verdünnungsluft, nur Vollstrom-Doppelverdünnung)

Das Gasmess- oder Durchflussmessgerät muss so angeordnet sein, dass die Temperatur des einströmenden Gases bei 298 K (25 °C) \pm 5 K bleibt.

- *BV: Kugelventil* (wahlfrei)

Der Durchmesser des Kugelventils darf nicht geringer als der Innendurchmesser des Entnahmerohrs sein, und seine Schaltzeit muss geringer als 0,5 Sekunden sein.

Anmerkung: Beträgt die Umgebungstemperatur in der Nähe von PSP, PTT, SDT und FH weniger als 239 K (20 °C), so ist für eine Vermeidung von Partikelverlusten an den kühlen Wänden dieser Teile zu sorgen. Es wird daher empfohlen, diese Teile innerhalb der in den entsprechenden Beschreibungen angegebenen Grenzwerte aufzuheizen und/oder zu isolieren. Ferner wird empfohlen, die Filteranströmtemperatur während der Probenahme nicht unter 293 K (20 °C) absinken zu lassen.

Bei hoher Motorlast können die obengenannten Teile durch nichtaggressive Mittel wie beispielsweise einen Umlüfter gekühlt werden, solange die Temperatur des Kühlmittels nicht weniger als 293 K (20 °C) beträgt.
