



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE
Bundesamt für Umwelt BAFU

VORSCHLAG EINER EUROPÄISCHEN STAUBMESSNORM FÜR FESTSTOFF- FEUERSTÄTTEN

AUSARBEITUNG UND UNTERSUCHUNG EINES TYPENPRÜF-MESSVERFAHRENS FÜR STAUBEMISSIONEN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Christian Gaegauf, Ökozentrum Langenbruck
4438 Langenbruck, gaegauf@oekozentrum.ch, www.oekozentrum.ch
Timothy Griffin, Fachhochschule Nordwestschweiz/ITFE
4132 Muttenz, timothy.griffin@fhnw.ch, www.fhnw.ch/technik/itfe

Impressum

Datum: 31. Oktober 2007

Im Auftrag des

Bundesamt für Energie (BFE), Forschungsprogramm Biomasse
und

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Postadresse: CH-3003 Bern

BFE-Projektleiter: Bereichsleiter, daniel.binggeli@bfe.admin.ch

Projektnummer: 101655

BAFU-Projektleiter: Jürg Dauwalder, juerg.dauwalder@bafu.admin.ch

Projektnummer: LUNIS/Luft/06/15/f131-0962

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abstract	2
1. Ausgangslage.....	3
2. Konzept der neuen Europäischen Technischen Spezifikation.....	3
3. Aufbau der neuen Staubmesstechnik	5
4. Wissenschaftliche Untersuchungen	8
5. Schlussfolgerungen.....	17
Referenzen	18
Anhang	

Zusammenfassung

Die bestehenden Europäischen Normen (EN) für Feststoff-Feuerstätten beschränken sich auf die Messungen der Kohlenmonoxid-Emissionen im Abgas. Eine zunehmende Zahl von Ländern fordert unter dem Druck der Feinstaub-Immissionsproblematik einheitliche Normen zur Messung der Staubemissionen von Feststoff-Feuerungen, da diese einen erheblichen Anteil am Gesamtausstoss der Verbrennungspartikel haben. Das Technische Komitee CEN/TC 295 der Europäischen Normenkommission (CEN), zuständig für die Feststoff-Feuerstätten Normierung, beauftragte das Ökozentrum Langenbruck als Schweizer Mitglied in der CEN/TC 295, eine Technische Spezifikation (TS) für die Staubmessung von Feststoff-Feuerungen im Wohnbereich auszuarbeiten.

Die neu ausgearbeitete TS basiert auf der Messung des Staubes in den Abgasen nach dem Prinzip der Abgas-Vollstromverdünnung. Bei diesem Messverfahren werden sämtliche Abgase mit Umgebungsluft in einem Verdünnungstunnel (Constant Volume Sampling, CVS) vermischt. Da im Verdünnungstunnel die Erfassung der Partikelmasse bei Temperaturen unter 50°C erfolgt, werden auch kondensierbare Aerosole mit erfasst. Der Verdünnungstunnel wurde an der Prüfstelle für Holzfeuerungen an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz aufgebaut. Das neue Messverfahren integriert sich in die bestehende EN-Typenprüfung. Das Messverfahren der Abgas-Vollstromverdünnung wurde entlang dem TS-Entwurf wissenschaftlich untersucht. Die Schwerpunkte lagen auf der Messung der verschiedenen Einflussfaktoren wie Staubsondenposition, Isokinetik, Filtertemperatur und Verdünnungsfaktor. Mit parallelen Messungen im Abgas und im Verdünnungstunnel konnten die Staubwerte der zwei Messverfahren verglichen werden. Die Untersuchungen erfolgten an einem Pelletofen und einem Stückholzofen. In den durchgeführten Parallelmessungen liegen je nach Verbrennungsqualität die ermittelten Staubwerte im Verdünnungstunnel zwischen 7% und 26% (Pelletofen) bzw. 40% bis 160 % über den im Abgas gemessenen Staubwerten. Es wurde gezeigt, dass die Unterschiede auf den Ausstoss unverbrannter Kohlenstoffverbindungen zurückzuführen sind.

Abstract

The European Standards for type testing of solid fuel burning appliances requires only the emission measurement of carbon monoxide. Many European countries urge the standardisation committees to establish standards for the regulation of fine particulate emissions from flue gases since they face exceeding threshold values of particulate matter in the ambient air. The Technical Committee CEN/TC 295 for the standardisation of solid fuel burning appliances assigned the Centre for Appropriate Technology with the development of a European Technical Specification (TS) for the determination of particulate emission.

The new draft of the TS is based on constant volume sampling (CVS) of the entire flue gas flow in a dilution tunnel. The scientific research has been done in the Swiss test laboratory for solid fuel burning appliances and boilers at the University of Applied Sciences, Bâle. The TS is designed such, that it can be integrated in the test cycles according to various European standards. The investigation covered work on parameters such as dilution factor, sampling temperature and isokinetics. Tests with a wood log burning appliance and a pellet stove showed, that emissions in the DT were between 7% and 26% for the pellet stove and from 40% up to 160% higher if they were sampled directly from the stack using heated gravimetric filters. It was demonstrated, that the variance between the emissions seen in the DT and those from the stack increased along with increasing levels of incomplete combustion.

1. Ausgangslage

Für Feststoff-Feuerstätten im Wohnbereich sind Europäische Normen in Kraft, die auch von der Schweiz übernommen wurden [2005, SN EN]. Die Normen gelten für *Cheminées, Cheminée- und Kachelofen-Heizeinsätze* (EN 13229), *Raumheizer* (EN 13240), *Herde und Zentralheizungsherde* (EN 12815), *Pellet-Feuerstätten* (EN 14785) sowie *Klein-Kessel <30 kW* (EN 12809). Die aktuellen Europäischen Normen beschränken sich auf die Messungen der Kohlenmonoxid-Emissionen (CO) im Abgas. Eine zunehmende Zahl von Ländern fordern unter dem Druck der Feinstaub-Immissionsproblematik einheitliche Normen zur Messung der Staubemissionen von Feststoff-Feuerstätten, da diese einen erheblichen Anteil an dem gesamten Ausstoss von Verbrennungspartikel haben.

Das Technische Komitee CEN/TC 295 der Europäischen Normenkommission (CEN) ist zuständig für die Normierung von Feststoff-Feuerstätten. Die Arbeitsgruppe CEN/TC 295 WG 5 (Messverfahren) ist beauftragt, eine Technische Spezifikation (TS) für die Staubmessung an Feststoff-Feuerstätten im Wohnbereich auszuarbeiten. Die Schweiz unterstützt die europäische Vereinheitlichung der Normen für Feuerstätten seit einigen Jahren durch das Mitwirken in der Gesamt-CEN/TC 295 wie auch in der Arbeitsgruppe CEN/TC 295 WG 5. Das Ökozentrum Langenbruck wurde dabei als langjähriges Schweizer Mitglied in der CEN/TC WG 5 angefragt, eine Methode für die Staubmessung auszuarbeiten. Damit bot sich die einmalige Chance, dass die Schweiz Einfluss auf diesen wichtigen Bereich der Europäischen Normen nehmen kann. Die Phase der Ausarbeitung von Entwürfen für Normen und Technische Spezifikationen ist der wirkungsvollste Moment der Mitgestaltung. Die Schweiz vereint zudem verschiedenste Experten in Forschung, Behörden und Industrie, um diesen Einfluss auch kompetent im Sinne von öffentlichem und industriellem Interesse wahrnehmen zu können.

Das Projekt zur Ausarbeitung einer Europäischen Technischen Spezifikation zur Staubmessung (EN-TS-Staub) wurde gemeinsam von Ökozentrum Langenbruck und der Prüfstelle für Holzfeuerung an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) durchgeführt. Auch dies ist eine vorteilhafte Voraussetzung, da mit dem Mitwirken der Schweizer Prüfstelle für Holzfeuerung der EN-TS-Staub so im Prüfpraxis-Alltag getestet werden kann und die Prüfstelle sich Kompetenzen im europäischen Umfeld der Prüfstellen aufbaut. Eine Technische Spezifikation kann nach 3 Jahren Anwendung in eine Europäische Norm umgewandelt werden.

Zentral für die Ausformulierung der EN-TS-Staub war die Forderung, dass sich das neue Staubmessverfahren in das bestehende EN-Prüfprozedere integrieren lässt. Dies um die bestehende Prüflabor-Infrastruktur nutzen zu können, damit sich die Zusatzkosten für die Industrie im moderaten Rahmen halten.

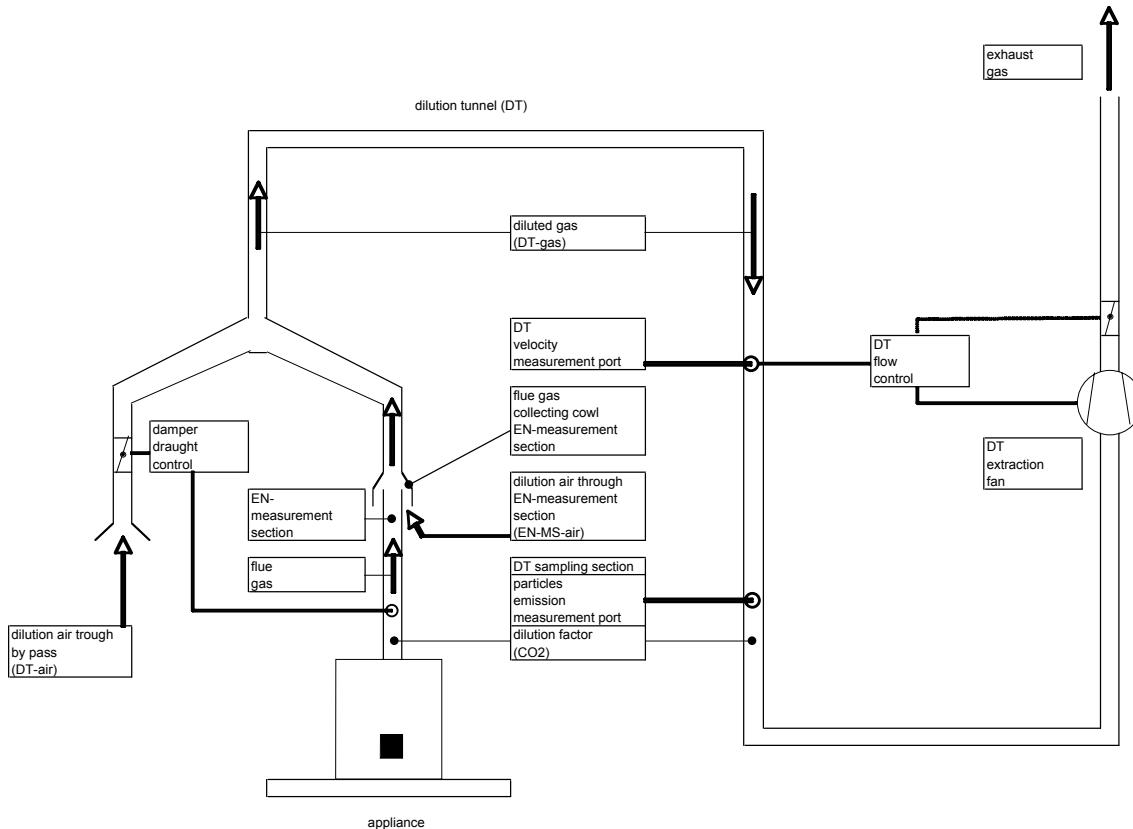
2. Konzept der neuen Europäischen Technischen Spezifikation

Während des Abbrandes einer Stückholz-Feuerstätte ändern sich charakteristische Parameter wie Abbrandrate, Brennstoffzusammensetzung und Luftüberschuss. Eine Abgasanalytik muss diese variierenden Grössen berücksichtigen, damit reproduzierbare Abgaswerte gemessen werden können. Im vorliegenden Entwurf der neuen Europäischen Technischen Spezifikation zur Staubmessung (EN-TS-Staub) wird für die Messung des Staubes die Abgas-Vollstromverdünnung vorgeschlagen, um den ändernden Abbrandverhältnissen Rechnung zu tragen. Das Messverfahren führt den gesamten Abgasstrom in einen konstanten Volumenstrom (Constant Volume Sampling, CVS) über, indem die Abgase mit Umgebungsluft in einem Verdünnungstunnel (Dilution Tunnel, DT) vermengt werden. Da im Verdünnungstunnel die Sammlung der Partikelmasse bei tieferen Temperaturen erfolgt als bei der Staubmessung im Abgasstrom, werden auch die kondensierbaren Aerosole miterfasst. Das CVS-Verfahren wird bereits in unterschiedlicher Ausformulierung in den USA, Australien, Neuseeland, Norwegen und Grossbritannien für die Staubmessung eingesetzt. Auf der Basis der verschiedenen Normen wurde ein vereinheitlichtes CVS-Messverfahren entworfen, in dem insbesondere die folgenden Sachverhalte festgelegt sind:

- Bereich des Verdünnungsverhältnisses von Umgebungsluft und Abgas.
- Bereich der Gasgeschwindigkeit im Verdünnungstunnel.
- Geometrische Anordnung der Staubmesssonde im Verdünnungstunnel.
- Filtersondenteratur.

- Messung des Verdünnungsverhältnisses durch die parallele Erfassung von CO₂ als Tracergas im Abgas und im Verdünnungstunnel.
- Berechnungsgrundlagen, die es erlauben, die Staubwerte als Konzentrationswerten (z.B. mg/m_n³ @13% O₂), als Emissionsfaktor (mg/MJ_{Hu} Brennstoff oder g/kg Brennstoff trocken) oder als Emissionsfracht (g/h) auszuweisen.

In der untenstehenden Abbildung (Figur 1) ist das Messprinzip aufgezeigt. Das Konzept erlaubt die parallele Staubmessung mit den Abgas- und Wirkungsgradmessungen nach den bestehenden EN-Normen, um Zusatzkosten zu vermeiden. Im gleichen Durchgang einer Typenprüfung kann so gleichzeitig Staub, CO und der Wirkungsgrad ermittelt werden.



Figur 1 Konzept der neuen Europäischen Technischen Spezifikation für die Staubmessungen (EN-TS-Staub) von Holz- bzw. Feststoff-Feuerstätten auf der Basis der Abgas-Vollstromverdünnung (Constant Volume Sampling, CVS). Die Staubmessung erfolgt parallel im Prüfzyklus der bestehenden EN-Prüfnormen für Feststoff-Feuerstätten.

Die TS-Entwürfe wurden an verschiedenen Sitzung der CEN/TC 295 WG 5 behandelt. Das Messprinzip mit Verdünnungstunnel wurde grundsätzlich gutgeheissen. Im Anhang findet sich der ausgearbeitete Entwurf der EN-TS-Staub.

3. Aufbau der neuen Staubmesstechnik

Der Aufbau der neuen Staubmessmethode (EN-TS-Staub) mit Verdünnungstunnel wurde an der Prüfstelle für Holzfeuerungen an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) in Muttenz installiert (Figure 2). Der Prüfstand erfüllt die Anforderungen der bestehenden EN-Normen für Feststofffeuerstätten. Mit der Ergänzung des neuen EN-TS-Staub-Aufbau lassen sich die neuen Staubmessung im Verdünnungstunnel parallel zu der EN-Typenprüfung durchführen.



Figure 2 Aufbau des Verdünnungstunnels (Dilution Tunnel, DT) für die Staubmessung an der Prüfstelle für Holzfeuerungen an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Muttenz.

Das Messverfahren der Abgas-Vollstromverdünnung wurde entlang dem vorliegenden EN-TS-Staub-Entwurf wissenschaftlich untersucht. Schwerpunkte waren die folgenden Fragestellungen:

- Lassen sich mit dem neuen Messaufbau die in den EN-Normen geforderten Betriebsparameter einhalten (Unterdruck im Abgas).
- Unterschied der Werte zwischen der Staubmessung im Abgas und im Verdünnungstunnel.
- Einfluss des Verdünnungsverhältnisses und der damit einhergehenden Temperaturänderungen des Gases im Verdünnungstunnel auf die gemessene Staubmenge.
- Auswirkung unterschiedlicher Temperaturniveaus der Staubentnahmesonde im Verdünnungstunnel auf die Staubmenge.
- Einfluss der Ausrichtung der Entnahmesonde (geometrische Anordnung) auf die erfasste Staubmenge unter isokinetischen/nicht-isokinetischen Bedingungen.

Die Untersuchungen wurden an einem Pelletofen und einem Stückholzofen durchgeführt. Der Vorteil der Pelletfeuerung ist die Konstanz der Verbrennung, was bei Variation der Untersuchungsparameter von Vorteil ist. Mit dem Stückholzofen konnten Praxiserfahrungen mit Feuerstätten für Stückholz gewonnen werden.

Zusätzlich zu den wissenschaftlichen Arbeiten wurde eine Diplomarbeit an der FHNW durchgeführt.

Integration der Staubmessung in die EN-Typenprüfung

GERÄTE

Die Feuerungsspezifikationen des Pellet- und Stückholzofens sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

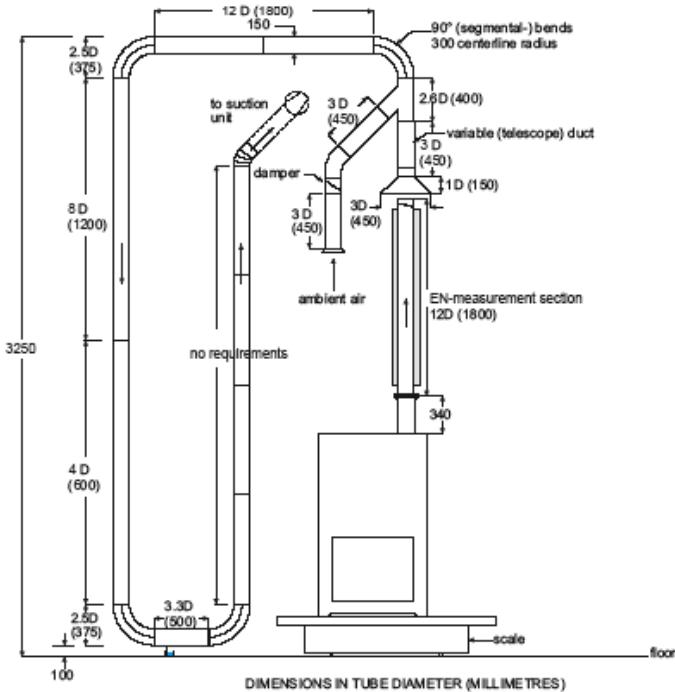
Tabelle 1 Technische Spezifikationen der verwendeten Feuerungen

Feuerung	Pelletofen	Stückholzofen
Typ	Rüegg KEA	Jøtul
Leistung	2.4 - 6.0 kW	3 – 8 kW
Brennstoff	Pellets Wassergehalt 6.8 % atro	Stückholz, 33 cm Wassergehalt 18.8 % atro
Feuerungsart	Brennschale, Fallschacht-Beschickung	Durchbrandfeuerung
Konstruktion	Schweisskonstruktion	Guss, Frontscheibe
Gewicht	100 kg	125 kg

SIMULTANBETRIEB VON EN-TS-STaubMESSUNG UND EN-TYPENPRÜFUNG

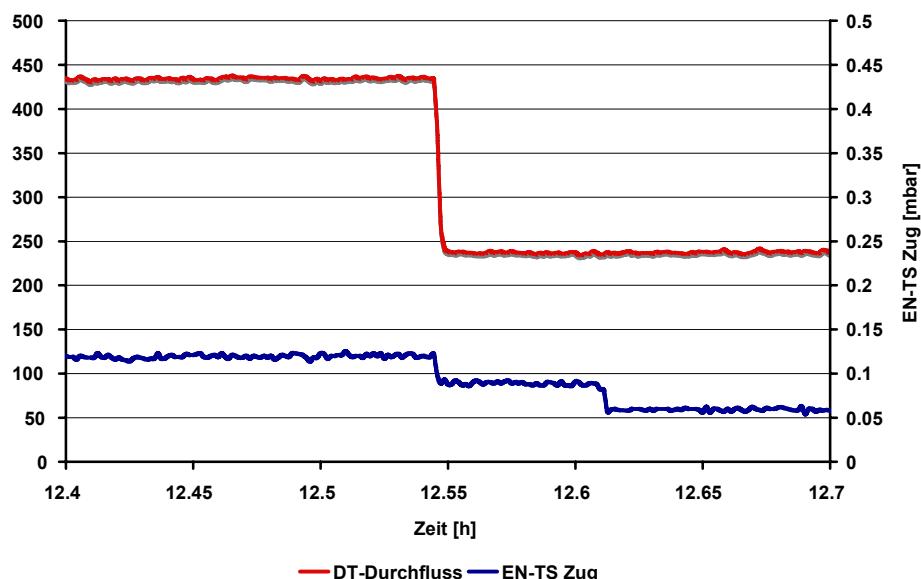
Die EN-TS-Staubmessung soll parallel zur bestehenden EN-Typenprüfung [2005, SN EN] durchgeführt werden können. Die EN-Typenprüfung umfasst u.a. die Messung der CO-Emissionen und des Wirkungsgrades der Feuerung. Dazu werden die CO-, CO₂-Konzentrationen und Temperaturen im Abgas erfasst. Die Normen definieren den Aufbau der Entnahmestellen für die Abgasmessung (EN-Messstrecke). Bei der EN-Typenprüfung ist ein konstanter Unterdruck in der EN-Messstrecke einzuhalten. In den gängigen Typenprüfständen sorgt ein Saugzuggebläse für den erforderlichen Unterdruck.

Im neuen EN-TS-Staub-Anlagelayout kann mittels einer Bypassklappe der Unterdruck in der EN-Messstrecke unabhängig vom geforderten Verdünnungstunnel-Durchfluss eingestellt werden. Mit einer in der Höhe verstellbaren Absaughaube über der EN-Messstrecke (Figur 3) lässt sich der geforderte Unterdruck grob voreinstellen. Die Bypassklappe erlaubt die Feineinstellung des Unterdruckes.



Figur 3 Integration des Verdünnungstunnel-Aufbaus für die neue Staubmessung in den EN-Prüfstand für die Typenprüfungen von Feststoff-Feuerstämmen.

In Figur 4 ist ein Versuch mit der Pelletfeuerung dargestellt, der die Veränderung des Unterdrucks (Zug) in der EN-Messtrecke aufzeigt. Naturgemäß sinkt der Unterdruck bei der Absenkung des Durchflusses im Verdünnungstunnel (DT-Durchfluss, Figur 4: Zeitachse Punkt 12.55 h). Der Unterdruck lässt sich jedoch mit der Bypassklappe ohne den Durchfluss im Verdünnungstunnel zu beeinflussen auf den geforderten Wert einregulieren (Figur 4: Zeitachse 12.6 – 12.65 h).



Figur 4 Sprungantwort des Unterdrucks (Zug) in der EN-Messtrecke auf einen ändernden Durchfluss im Verdünnungstunnel (DT-Durchfluss). Die Feinregulierung des Unterdruckes in der EN-Messtrecke mit der Bypassklappe beeinflusst den DT-Durchfluss nicht.

Figur 4 zeigt auch den konstanten Verlauf von Durchfluss und Unterdruck. Diese Eigenschaft ist für die Reproduzierbarkeit der Messwerte wichtig. Die Ergänzung des EN-Prüfstandes mit dem vorgeschlagenen Layout des Verdünnungstunnels bringt eine verbesserte Handhabe gerade mit der einfachen Regelung des Unterdruckes in der EN-Messstrecke. Da der Unterdruck einen direkten Einfluss auf die Abbrandrate der Feuerung hat, muss er während eines Prüfzyklus zuverlässig eingestellt werden können.

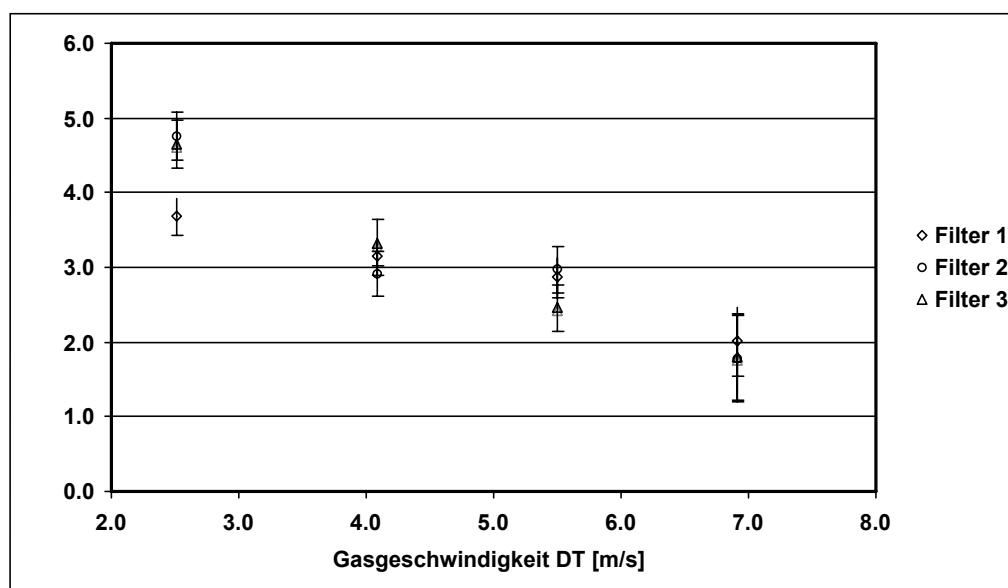
4. Wissenschaftliche Untersuchungen

STAUBMESSUNG

Probenahme

Der konstante Durchfluss im Verdünnungstunnel ermöglicht die isokinetische Staubentnahme auf einfache Weise. Einige Normen (USA, Australien, Neuseeland), die bereits das Prinzip der Verdünnungstunnel-Staubmessung anwenden, sehen jedoch keine isokinetische Probenahme vor. Da der überwiegende Anteil der Verbrennungspartikel von Holzfeuerungen Durchmesser unter 1 µm aufweisen, verhalten sich die Staubpartikel bei der Probenahme wie Gase. Damit ist die isokinetische Probenahme keine zentrale Voraussetzung. Die Untersuchungen im vorliegenden Projekt zeigten, dass eine isokinetisch ausgerichtete Sonde Grobpartikel mit einer hohen Zufälligkeit sammelt. Diese Grobpartikel verzerrn die Ergebnisse der Staubmessung und verschlechtern die Wiederholbarkeit der Messresultate. Da die Fein- und Feinstpartikel gesundheitlich relevant sind ist zu prüfen, ob aus Gründen der Messsicherheit ein Abscheider für Partikel > 1 µm dem Staubfilter vorgeschaltet werden sollte. Damit würde eine isokinetische Probenahme hinfällig.

In Figur 5 ist die Auswertung der Staubmessungen einer Parallelmessung von 3 Filtersonden aufgetragen. Die Messungen erfolgten bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten im Verdünnungstunnel. Alle 3 Filtersonden waren in einem rechten Winkel zur Strömungsrichtung orientiert und damit nicht auf die isokinetische Staubentnahme ausgerichtet. Die Absauggeschwindigkeit war bei allen Filterproben konstant auf 3.5 m/s eingestellt.

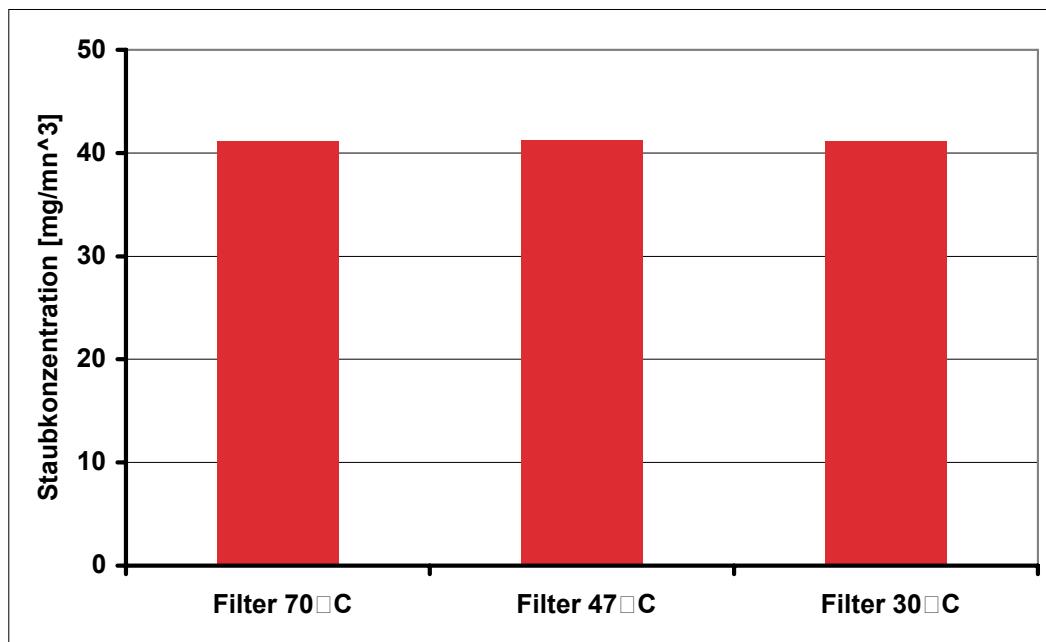


Figur 5 Parallelmessung mit 3 im rechten Winkel zur Strömungsrichtung ausgerichteten Staubsonden im Verdünnungstunnel (DT). Eine zunehmende Gasgeschwindigkeit im DT führt zur Vorabscheidung von Grobpartikeln, was die Verlässlichkeit der Staubmessung erhöht.

Bei zunehmender Gasgeschwindigkeit im Verdünnungstunnel verringert sich die Abweichung der gemessenen Staubwerte unter den 3 Filtern. Die abnehmende Abweichung bei höheren Gasgeschwindigkeiten ist auf die Vorabscheidung der Grobpartikel durch die 90°-Sondenorientierung bedingt. Der vorgeschlagene Vorabscheider (Impaktor) würde die Verlässlichkeit der Staubmessung klar verbessern. Die absolute Abnahme der Staubkonzentration in Figur 5 ist durch die grössere Verdünnung bei den erhöhten Gasgeschwindigkeiten im Verdünnungstunnel bedingt.

Filtertemperatur

Bestehende Verdünnungstunnel-Normen machen gegensätzliche Aussagen zur erforderlichen Temperatur des Staubfiltergehäuses. Um den Einfluss der Filtergehäusetemperatur auf die Messresultate zu eruieren, wurde bei einer zeitgleichen Staubmessung am Pelletofen drei verschiedene Filtergehäuse auf verschiedene Temperaturen (30°C, 47°C und 70°C) thermostatisiert. Es zeigten sich nur geringste Abweichungen der Staubwerte in diesem Versuch (Figur 6).



Figur 6 Einfluss der Staubfilter-Gehäusetemperatur auf den gemessenen Staubwert im Verdünnungstunnel (DT). Die Werte einer Parallelmessung am Pelletofen mit drei Filtern zeigen bei einem Verdünnungsverhältnis von 11.2 keine Abweichungen.

Es wird vorgeschlagen, die Filtergehäusetemperatur nicht aktiv zu regeln, und sie auf die sich gemäss den Umgebungsbedingungen einstellende Temperatur zu betreiben.

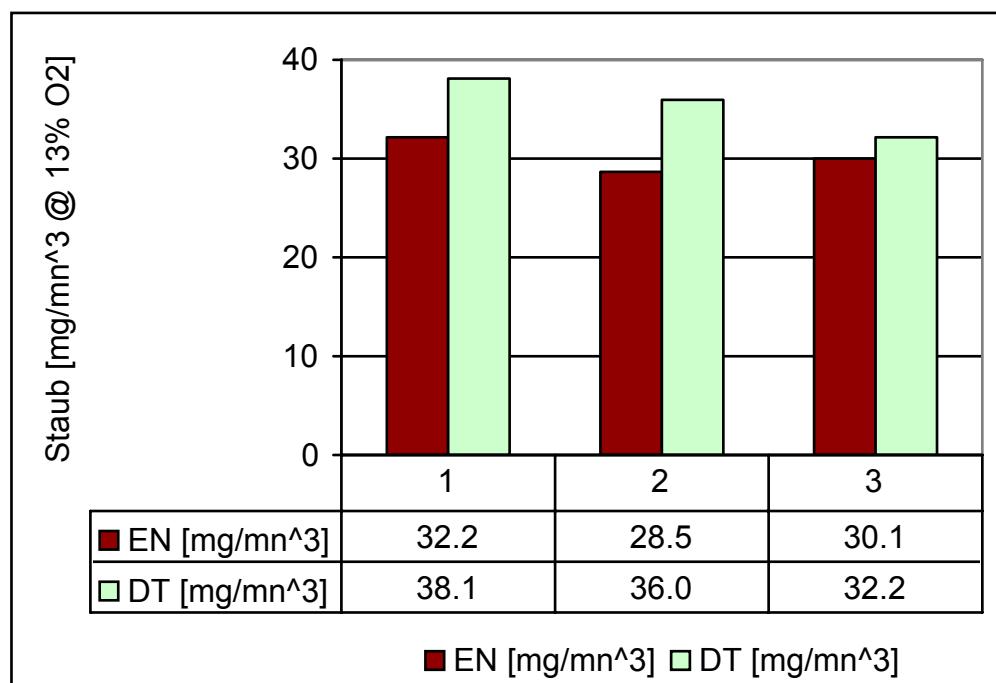
Staub-Parallelmessung im Abgas und Verdünnungstunnel

Seitens der Hersteller richtet sich das zentrale Interesse auf den Vergleich der Staubwerte, wie sie im Abgas (EN-Messstrecke) und im Verdünnungstunnel gemessen werden. Die Branche befürchtet, dass sich mit dem neuen Staubmessverfahren höhere Staubwerte ergeben als mit den heute gängigen Messverfahren. Die Behörden orientieren sich beim Festlegen von Grenzwerten an den aktuellen Prüfnormen, die den Staub im Abgasstrom erfassen. Die Branche hat Bedenken, dass die Behörden eine andere Methode für die Staubmessung nicht entsprechend in den Grenzwerten berücksichtigen. Dazu kommt, dass europaweit mit der Verschärfung der Staubgrenzwerte zu rechnen ist. All diese Aspekte gilt es bei der Ausarbeitung und Einführung neuer Messnormen zu beachten.

Für den Vergleich der Staubwerte wurden die Staubkonzentration im Abgas den Emissionsfaktoren im Verdünnungstunnel gegenübergestellt. Die Staubmessungen im Abgas orientierten sich an den Staubmessnormen EN 13284-1 [2001, EN13284-1]. Die Staubkonzentrationen sind auf 13%

Sauerstoff bezogen. Die parallel im Verdünnungstunnel erhobenen Staubwerte liefern Emissionsfaktoren, die sich aus der gesamten Staubmenge eines Abbrandes und der verfeuerten Brennstoffmasse (trocken) ergeben. Die Gesamtstaubmenge wird aus dem Verhältnis des durch den Staubfilter abgesogene Teilstromvolumens zum im Messintervall insgesamt durch den Verdünnungstunnel geströmten Gasvolumen ermittelt. Der gemessene Staub-Emissionsfaktor ($\text{g}_{\text{Staub}}/\text{kg}_{\text{Brennstoff trocken}}$) wurde auf die Staubkonzentration bei 13 % Sauerstoff umgerechnet.

Die gemessenen Werte von 3 Abbränden des Pelletofens sind in Figur 7 aufgeführt. Die Staubwerte im Verdünnungstunnel (DT) liegen zwischen 7% und 26% über den Werten im Abgas (EN). Die Verbrennung zeichnet sich auf Grund der tiefen CO-Werte (Bereich 97 - 109 mg/m₃ @13% O₂) durch einen guten Ausbrand aus. Die Aerosole stammen weitgehend aus den mineralischen Bestandteilen der Asche. Der Anteil des Gesamtkohlenstoffes in den Partikeln dürfte auf Grund von Erfahrungen aus Messungen des Ökozentrums Langenbruck gering sein [2005, Gaegauf et al.].



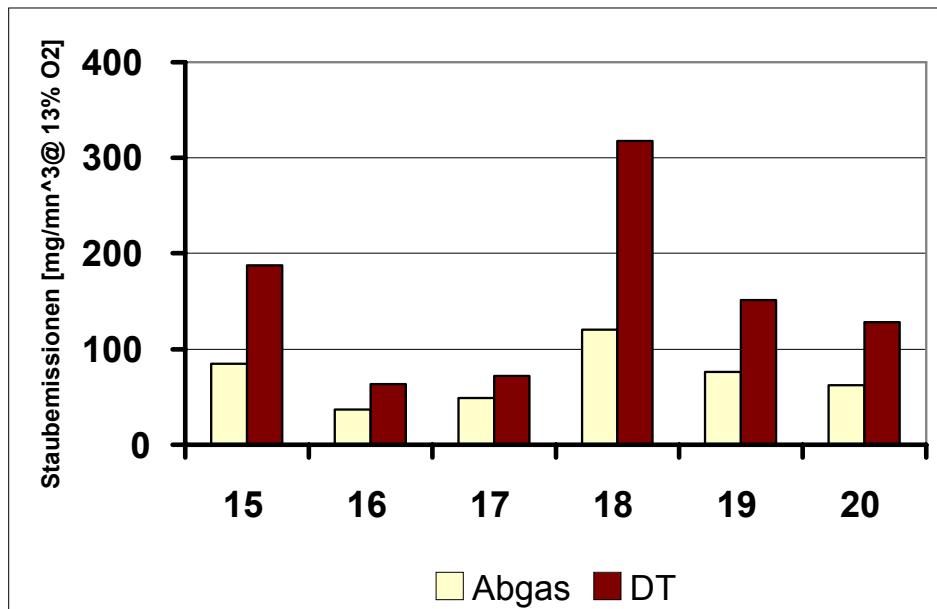
Figur 7 Gegenüberstellung der Staubwerte des Pelletofens aus Parallelmessungen im Abgas (EN) und im Verdünnungstunnel (DT). Die Entnahmesonden der Staubfilter sind 90° zur Gasströmung (EN und DT) orientiert.

In Ergänzung zum Pelletofen, der geringe Mengen an unverbrannten Stoffen im Abgas aufwies, interessierten die Vergleichswerte der Staub-Parallelmessung eines Stückholzofens. Die Betriebsparameter wie Brennstoffaufgabemenge und Luftklappeneinstellung blieben bei allen Stückholzofen-Versuchen identisch. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Gegenüberstellung der parallel gemessenen Stückholzofen-Staubwerte im Abgas (EN) und im Verdünnungstunnel (DT) bezogen auf 13% O₂.

Versuch	15	16	17	18	19	20
Staubwert	mg/m _n ³					
Abgas (EN)	85	37	49	121	77	63
DT	188	63	72	317	151	129

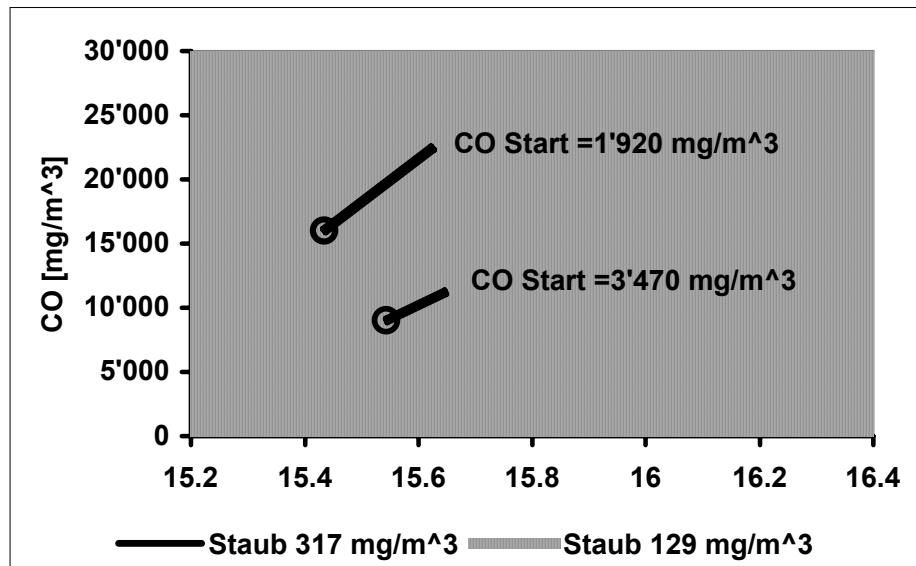
Obwohl die Versuche mit der identischen Verbrennungsluft-Klappenstellung und Brennstoffmenge von 2 kg gefahren wurden, fällt die Streuung der Staubwerte auf (Figur 8). Die Tendenzen zu höheren bzw. tieferen Staubwerten im Abgas und im Verdünnungstunnel sind gleichläufig. Die Unterschiede zwischen den im Abgas und Verdünnungstunnel parallel erhobenen Staubwerten variieren jedoch erheblich in den einzelnen Versuchen.



Figur 8 Gegenüberstellung der Staubwerte im Abgas (EN-Messstrecke) und im Verdünnungstunnel (DT) eines Stückholzofens von 6 parallelen Versuchen.

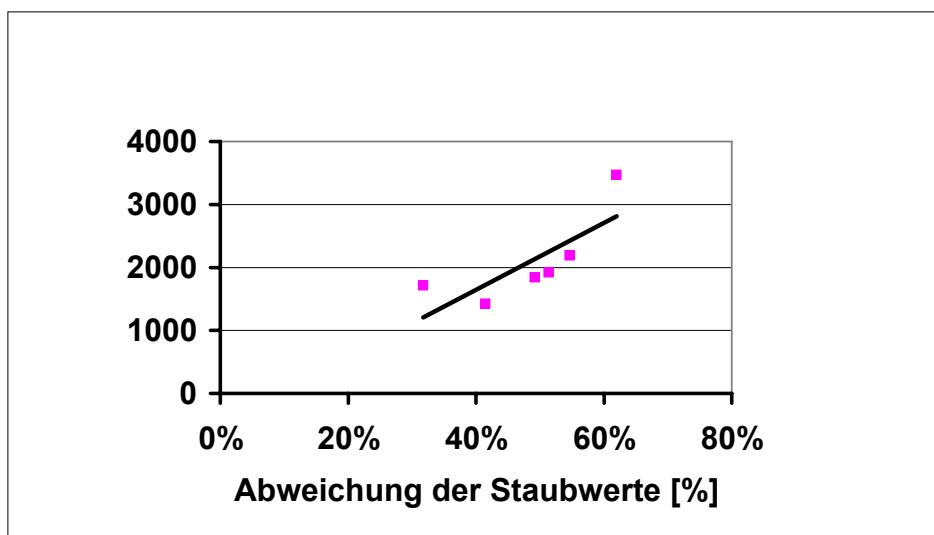
Die Staubwerte des Verdünnungstunnels liegen Faktor 1.4 bis 2.6 (Tabelle 2) über den im Abgas gemessenen Werten. Die Frage stellt sich nach dem Grund der breiten Streuung. Eine mögliche Ursache liegt in der unterschiedlichen Verbrennungsgüte in den einzelnen Abbränden. Als Indikator für die Verbrennungsgüte eignen sich die Kohlenmonoxidwerte (CO). Untersuchungen des Ökozentrums Langenbruck [2005, Gaegau et al.] über den Gehalt von organischem (OC) und elementarem (EC) Kohlenstoff in den Partikeln von Holzfeuerungen ergaben, dass der Anteil an OC in den Phasen unvollständiger Verbrennung gegenüber dem EC-Anteil deutlich erhöht ist. In früheren Publikationen [1991, Gaegau et al.] wurde gezeigt, dass bei Stückholzfeuerungen die CO-Emissionen allerdings nur in der Anfeuerphase als Indikator der Verbrennungsqualität beigezogen werden können. Im Ausbrand nehmen die organischen Kohlenwasserstoffverbindungen als eindeutige Indikatoren für die unvollständige Verbrennung trotz wieder steigenden CO-Emissionen ab. In Figur 9 sind zwei Staub-Extremwerte den entsprechenden CO-Werten der Startphase (Mittelwert der ersten 17 Minuten

ab Holznachlegen) gegenübergestellt. Der tiefere Staubwert (129 mg/m^3) weist klar einen tieferen CO-Startwert (Mittelwert $1'920 \text{ mg/m}^3$) auf als der höhere Staubwert (317 mg/m^3) mit einem Faktor 1.8 höheren CO-Startwert (Mittelwert $3'470 \text{ mg/m}^3$).



Figur 9 Einfluss des Anbrandverhaltens auf die Staubemissionen des Stückholzofens: Staubwerte bei identischen Versuchsbedingungen. Hohe Staubemissionen im Messzyklus sind gekoppelt mit erhöhten CO-Startwerten (CO Start) der ersten 17 Minuten ab Nachlegen von Holz.

In Figur 10 sind die CO-Werte der 17 Minuten-Startphase aus den 6 Versuchen den Abweichungen der EN- bzw. DT-Staubwerten gegenübergestellt.



Figur 10 Korrelation der CO-Werte mit den Abweichungen der Staubwerte der Parallelmessungen im Abgas EN) und im Verdünnungstunnel (DT). Hohe CO-Startemissionen (CO-Mittelwerte der ersten 17 Minuten eines Abbrandzyklus) sind Indikator einer unvollständigen Verbrennung mit erhöhtem Anteil an organischen Kohlenstoffverbindungen (Organic Carbon, OC) des Gesamtkohlenstoffes (Total Carbon, TC) in den Partikeln. Diese OC-Aerosole werden im tiefen Temperaturniveau des Verdünnungstunnels (DT) erfasst, nicht aber in der Abgasmessung (EN-Messtrecke).

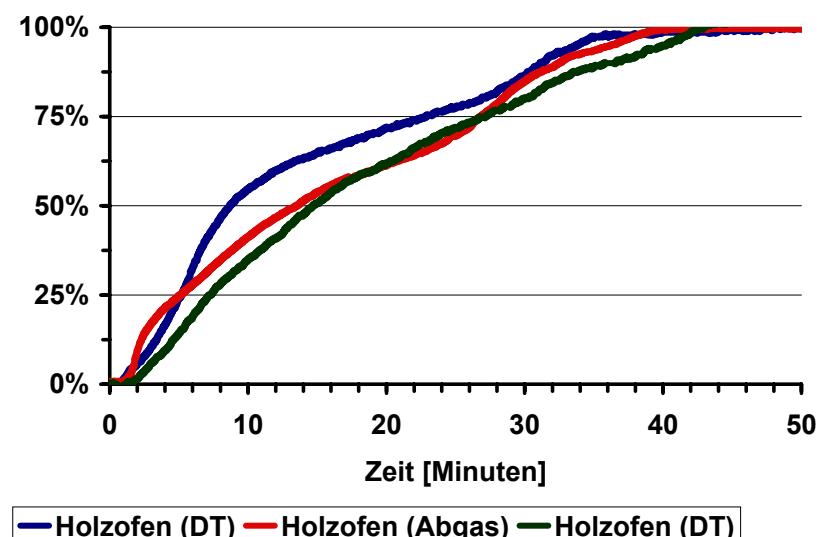
Die steigenden Abweichungen von den DT-Staubwerten zu den EN-Staubwerten korrelieren klar mit der Zunahme der Start-CO-Werte. Daraus lässt sich folgern, dass die bei unvollständiger Verbrennung entstehenden organischen Kohlenstoffverbindungen (Organic Carbon, OC) in der Staubmessung im Abgasstrom nicht in dem Masse erfasst werden, wie bei der Staubmessung im Verdünnungstunnel.

Gegenüber der Staubmessung im Abgas hat das Verdünnungstunnel-Messverfahren den wichtigen Vorteil, dass es die kondensierenden Aerosole erfasst. In Zukunft gewinnen Messverfahren an Bedeutung, die auch in den Phasen der instationären Betriebszustände Staub und kondensierbare Aerosole messen können. Solche instationären Phasen umfassen Kaltstarts, Nachlegen von Brennstoff oder Starts von automatischen Pellet-Feuerstätten. Im Zusammenhang mit der Überarbeitung der Anforderungen des Schweizer Qualitätssiegels für Holzfeuerungen diskutieren Experten zur Zeit, dass zusätzlich der Kaltstart-Staubwert auszuweisen sei. Bis anhin wurde mit der Staubmessung im Abgas nach dem Auflegen von Brennstoff eine gewisse Zeit zugewartet, bis mit der Messung begonnen wurde. Was dies auf die Erfassung der Partikelemissionen für Auswirkungen hat, ist im folgenden Kapitel diskutiert.

Staubemissionen in der Startphase

In Rahmen des Projektes führte das FHNW-Institut für Aerosol- und Sensortechnik zeitaufgelöste Staubmessungen durch. Mit dem TEOM-Staubmassen-Analysegerät (TEOM: Tapered Element Oscillating Microbalance) konnte der Staubauswurf parallel zeitaufgelöst mit den gravimetrischen Staubmessungen erfasst werden. Die TEOM-Messungen erfolgten im Abgas (EN-Messstrecke) und im Verdünnungstunnel (DT).

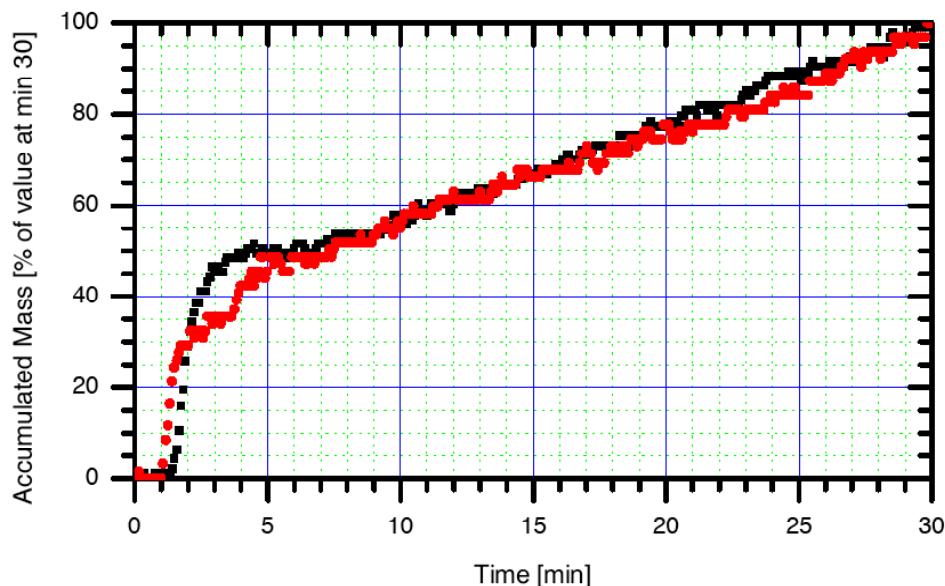
In Figur 11 ist die prozentual akkumulierte Staubmasse über einen Abbrandzyklus des Stückholzofens dargestellt. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass 50 % der insgesamt emittierten Staubmasse in den ersten 8 - 16 Minuten des ca. 50 Minuten dauernden Abbrandes ausgestossen wird.



Figur 11 Massenanteil des emittierten Staubes während eines Abbrandzyklus des Stückholzofens. Zeitaufgelöste Messungen mit dem TEOM-Messverfahren (TEOM: Tapered Element Oscillating Microbalance). Die TEOM-Messungen erfolgten im Abgas (EN-Messstrecke) und im Verdünnungstunnel (DT).

Diese Tatsache unterstreicht deutlich die dringende Notwendigkeit, die Staubmessung unmittelbar nach dem Nachlegen des Brennstoffes zu starten. Wartet man wie in der heute gängigen Staubmesspraxis 3 - 10 Minuten, werden klar zu geringe Staubemissionen ausgewiesen. Um aber die relevanten technischen Entwicklungen und Innovationen auszulösen, die zu einer wirksamen Reduktion des Partikelausstosses führen, müssen die Messnormen die Erfassung dieser kritischen Phasen fordern.

Die TEOM-Messungen am Pelletofen sind in Figur 12 dargestellt. Bei beiden Messungen stellt man ebenfalls in den ersten 5 Minuten nach dem Anfachen der Pellets in der Brennerpfanne einen Auswurf von 50 % der total in der gesamten Messperiode gesammelten Staubmasse fest.

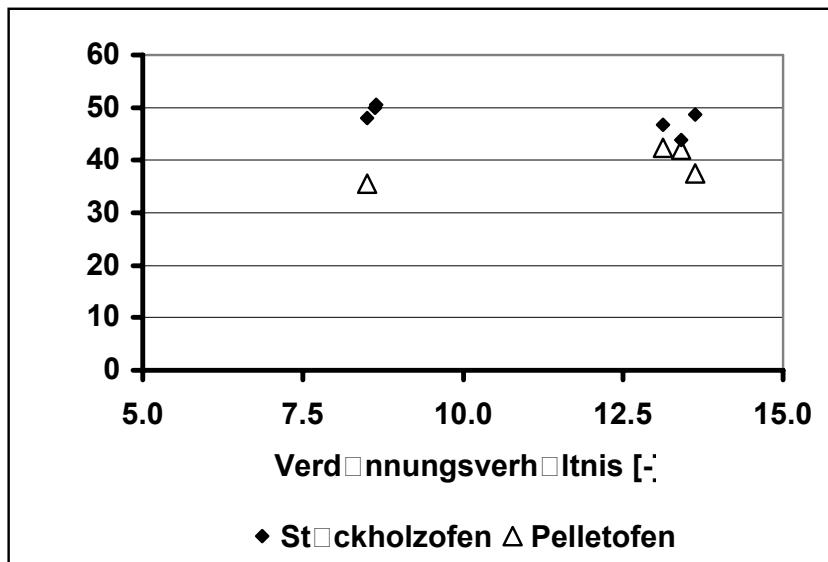


Figur 12 Massenanteil des emittierten Staubes nach Anfachen der Pellets in der Brennerpfanne des Pelletofens (zeitauflöste TEOM-Messungen im Verdünnungstunnel).

Wenn auch die insgesamt ausgestossene Menge des Pelletofens deutlich unter der des Stückholzofens liegt, kann man auch hier feststellen, dass es wichtig ist, transiente Phasen wie das Anfachen des Pelletbrennstoffes zu messen, um die wirklichen Emissionsfaktoren der Feuerungen zu erfassen.

Verdünnungsverhältnis

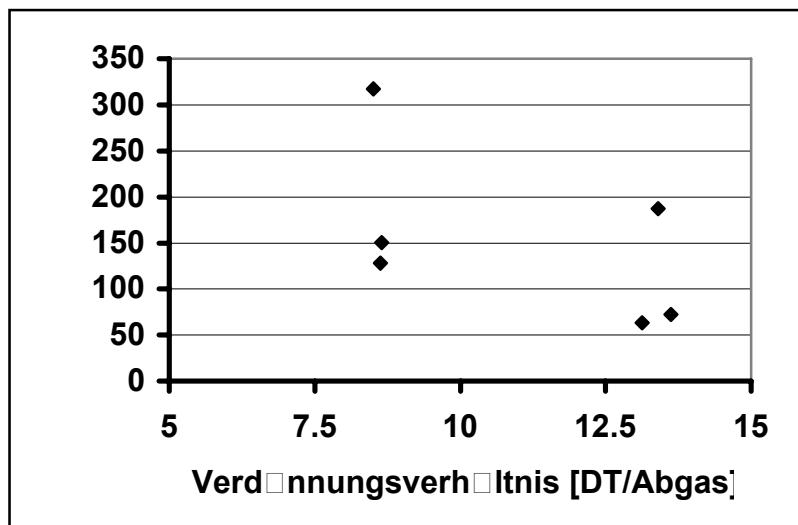
In den bestehenden Verdünnungstunnel-Staubmessnormen finden sich unterschiedliche Vorgaben zum Verdünnungsverhältnis. In den vorliegenden Untersuchen interessierte der Einfluss des Verdünnungsverhältnisses auf die gemessenen Staubwerte. Das Verdünnungsverhältnis ist definiert als Quotient aus Verdünnungstunnel-Gasvolumenstrom und Abgas-Volumenstrom. Der Einfluss des Verdünnungsverhältnisses auf die Gastemperaturen im Verdünnungstunnel der Stückholz- und Pelletofen-Messungen ist in Figur 13 dargestellt.



Figur 13 Gastemperatur im Verdünnungstunnel (DT) bei verschiedenen Verdünnungsverhältnissen (Verdünnungsverhältnis definiert als Quotient aus DT-Gas- und Abgas-Volumenstrom).

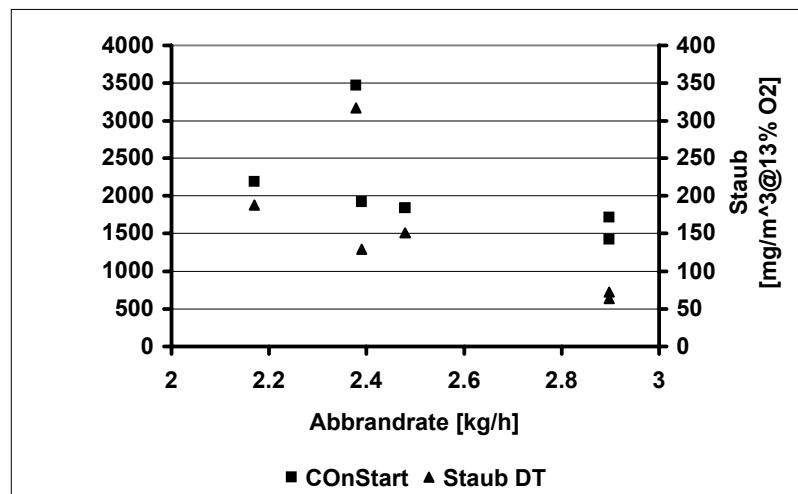
Im vorliegenden Normentwurf ist ein Bereich des Verdünnungsverhältnisses bis zu 20 vorgesehen. Der typische Bereich soll zwischen 11 - 15 liegen. Beim Stückholzofen bewegen sich die DT-Gastemperaturen für den Bereich des Verdünnungsverhältnisses von 8.5 bis 13.6 zwischen 44°C und 51°C, beim Pelletofen bei einem Verdünnungsverhältnis von 6.8 bis 14.8 zwischen 36°C und 42°C.

In Figur 14 sind die Staubwerte des Stückholzofens mit den Verdünnungsverhältnissen korreliert. Wie bereits festgestellt, streuen die Staubwerte trotz identischen Betriebsparametern erheblich.



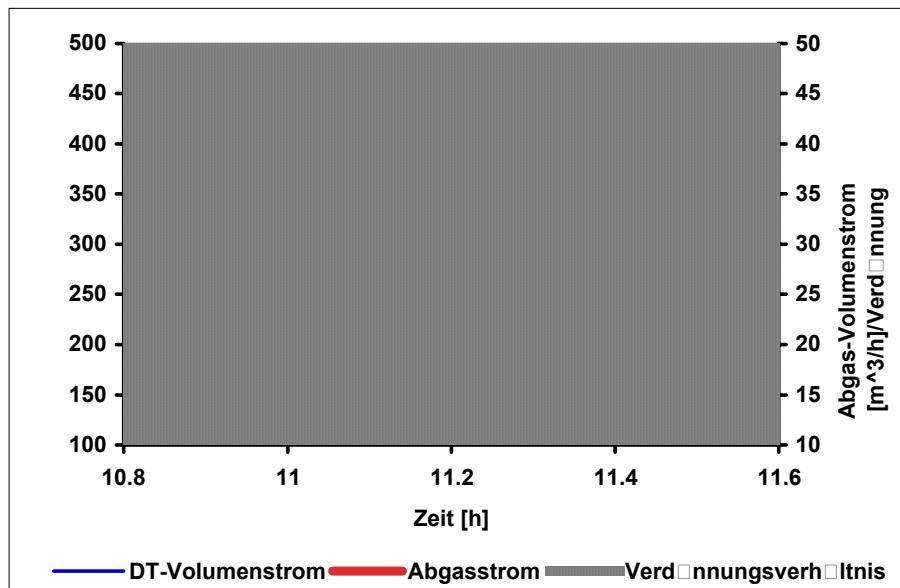
Figur 14 Staubmessung beim Stückholzofen. Werte bei unterschiedlichen Verdünnungsverhältnissen.

Die Daten in Figur 14 könnten zum Schluss führen, dass eine Tendenz zu geringeren Staubemissionen bei höheren Verdünnungsverhältnissen vorliegt. Vielmehr korreliert aber der Staub mit der Abbrandrate und dem CO-Startwert als Mittelwert der ersten 17 Betriebsminuten (Figur 15).



Figur 15 Korrelation der Staub und CO-Start-Werte mit den Abbrandraten des Stückholzofens.

Die vorliegenden Messungen lassen auf ein gutmütiges Verhalten der Staubwerte gegenüber variierenden Verdünnungsverhältnissen schliessen. Die Figur 16 zeigt den Verlauf des Verdünnungsverhältnisses über einen Staub-Messzyklus. Das Verdünnungsverhältnis verläuft sehr konstant.



Figur 16 Verlauf des Verdünnungsverhältnisses während eines Abbrandes des Stückholzofens.

Der Abgasstrom-Verlauf in Figur 16 wurde aus dem gemessenen DT-Gasvolumenstrom und dem über die CO₂-Messung ermittelten Verdünnungsverhältnis berechnet.

5. Schlussfolgerungen

Das Messverfahren des vorliegenden Entwurfes für einen Europäischen Technischen Standard zur Bestimmung der Staubemissionen von Feststoff-Feuerungen (EN-TS-Staub) lässt sich problemlos in die aktuellen EN-Prüfnormen integrieren. Die vereinfachte Unterdruckregelung in der Abgasmessstrecke bringt zusätzliche Vorteile für die Durchführung der EN-Typenprüfungen. Der EN-TS-Staub definiert Prüfparameter wie Verdünnungsverhältnis, Staubentnahme und Staubfiltertemperaturen, die einen klaren Messablauf mit wiederholbaren Messergebnissen ermöglicht.

In den durchgeführten Parallelmessungen liegen je nach Verbrennungsqualität die ermittelten Staubwerte im Verdünnungstunnel zwischen 7% und 26% (Pelletofen) bzw. 40% bis 160% über den im Abgas gemessenen Staubwerten. Es wurde gezeigt, dass die Unterschiede auf den Ausstoss unverbrannter Kohlenstoffe zurückzuführen sind. Die organischen Anteile (Organic carbon, OC) des Gesamtkohlenstoffs (Total carbon, TC) kondensieren im Verdünnungstunnel. Die dabei entstehenden OC-Aerosole werden im Staubfilter erfasst. Hier ergibt sich die Problematik, dass seitens der Hersteller sich das zentrale Interesse auf den Unterschied der Staubwerte, wie sie im Abgas (EN-Messstrecke) und im Verdünnungstunnel gemessen werden richtet. Die Branche befürchtet, dass sich mit einem neuen Staubmessverfahren höhere Staubwerte ergeben, als sie mit den heute gängigen Messverfahren ermittelt werden. Die Branche sieht die Gefahr, dass die Behörden sich ändernde Voraussetzungen der Staubmessung nicht in der Festlegung der Grenzwerte berücksichtigen. Dazu kommt, dass europaweit mit der Verschärfung der Staubgrenzwerte zu rechnen ist. Andererseits sollen Prüfverfahren die für Umwelt und Gesundheit relevanten Emissionen erfassen. Nur so werden zukünftig die richtigen technischen Entwicklungen und Innovationen angestossen. All diese Aspekte gilt es bei der Ausarbeitung und Einführung neuer Messnormen zu beachten.

Die neue Luftreinhalte-Verordnung (LRV) verschärft die Anforderungen bezüglich der Staubgrenzwerte von Holzfeuerungen. Mit den erhöhten Anforderungen der neuen LRV muss auch das Schweizer Qualitätssiegel für Holzfeuerungen (HFQS-CH) seine Anforderungen verschärfen, da die bisherigen HFQS-CH-Anforderungen von der LRV übernommen werden. Es sind dadurch erweiterte Anforderungen für das HFQS-CH erforderlich. Ein Expertengremium prüft die Möglichkeit, Staubwerte in den Phasen instationärer Verbrennung für die HFQS-CH-Zertifizierung zu fordern. Das vorliegende Staubmessverfahren auf der Basis der Abgas-Vollstromverdünnung im Verdünnungstunnel lässt sich problemlos für die Messung solcher instationären Verbrennungsphasen von Holzfeuerungen wie Anfeuern, Brennstoffbeschickung, Feuerunterhalt und Lastwechsel anwenden.

Das Projektconsortium Ökozentrum Langenbruck und die Nordwestschweizer Fachhochschulinstitute für Thermo- und Fluid-Engineering und Aerosol- und Sensortechnik will mit Unterstützung des Labors für Atmosphärenchemie am Paul Scherrer Institut die Aerosolbildung in den Phasen instationärer Verbrennungsprozesse vertieft untersuchen. Insbesondere sollen die chemische Zusammensetzungen der Aerosole in Funktion der Verbrennungsqualität eruiert werden. Diese Untersuchungen wollen vertiefte wissenschaftliche Fakten liefern, um das Design des neuen Prüfverfahrens auf die Erfassung der relevanten Schadstoffe hin zu optimieren.

Referenzen

- [2005, SN EN] Anforderungen und Prüfungen: SN EN 12809 Kessel für feste Brennstoffe. SN EN 12815 Herde für feste Brennstoffe, SN EN 13299 Kamme und Kammeinsätze, SN EN 13240 Raumheizer für feste Brennstoffe und EN-14785 Pelletfeuerstätten.
- [2001, EN13284-1] Stationary source emissions - Determination of low range mass concentration of dust. EN-Norm 2001
- [2005, Gaegauf et al.] Elemental and Organic Carbon in Flue Gas Particles of Various Wood Combustion Systems, Christian Gaegauf, Martin Schmid, Bundesamt für Umwelt, Schlussbericht 2005
- [1991, Gaegauf et al.] Das Abbrandverhalten von Klein-Holzfeuerungen, Christian Gaegauf, Dr. Basso Salerno, Bundesamt für Energie, Schlussbericht 1991

Anhang



TEMPLATE FOR THE PREPARATION OF CEN STANDARDS

TC295

English version

This template is used as a basis for printing and further processing of European standards. Basic knowledge of the functionality of the word processor is required for the template to function as intended.

Reference is made to the document: **User guide for CEN template – 1998**.

This front page must always be completed when a new document is created. Fields with the icon: is to be replaced with actual information. Most of these fields are located on this cover page. Click once on the symbol, then enter the relevant text. Press Ctrl-A followed by F9 when this page has been completed in order to update all references.

TO BE FILLED IN		
<i>European Organization:</i> CEN	<i>TC Number:</i> 295	<i>TC Title:</i> Residential solid fuel burning appliances
<i>WI Number:</i>	<i>Part Number:</i> TC295 N.... E	<i>Secretariat:</i> BSI
<i>Month:</i>	<i>Year:</i> 2007	<i>European Ref. Number:</i>
<i>English title:</i> Residential solid fuel burning appliances Determination of particulate emission – Test method		
<i>German title:</i> [German title]		
<i>French title:</i> [French title]		
<i>Development Status:</i> draft	<i>Document Sub Type:</i> [Doc. Sub Type]	<i>Development Stage:</i> [Dev. Stage]
<i>Ref. Organization:</i> [Ref. Org.]	<i>Ref. Number:</i> [Ref. No.]	<i>Ref. Month:</i> [Ref. Month]
<i>Amended doc. month:</i> [Amended doc. month]	<i>Amended doc. year:</i> [Amended doc. year]	<i>Header text:</i> [Header Text]
<i>ICS code(s):</i> [ICS code(s)]		
<i>Replaced Document:</i> [Replaced Document]		

CEN/TC 295 E

Date: 2007 May 3rd

TS.....

CEN/TC 295

Secretariat: BSI

Residential solid fuel burning appliances Determination of particulate emission - Test method

ICS :

Descriptors : [ Descriptors]

Document type: draft

Document subtype :

Document stage :

Document language: **E**

Macintosh HD:Users:chgaegauf: PRJ AKTUELL:138 EN-Staub:PRJ Schlussbericht:Bericht aktuell:SB
EN-TS-Staub_Anhang.doc

Foreword

This document (CEN/TS) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 295, "Residential solid fuel burning appliances ", the secretariat of which is held by BSI.

All the standards of CEN/TC 295 deal with the field of residential heating and cooking appliances burning solid fuels covering the standardization of appliance construction, safety and commissioning requirements and performance.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to announce this Technical Specification: Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, The Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

Contents

Introduction.....	4
Scope	4
Normative references	4
Terms and definitions	5
Test method.....	7
Test procedure	12
Calculations	14

Introduction

All the standards of CEN TC 295 deal with the field of residential heating and cooking appliances burning solid fuels covering the standardization of appliance construction, safety and commissioning requirements and performance (e.g. heat outputs, efficiency and emissions).

This European Technical Specification (TS) deals with the method for the measurement of particulate produced by the above mentioned heating and cooking appliances.

In many European countries regulation on particulate emissions of solid fuel burning appliances is expected to become stricter. A common European standard for the test method to be used in determining particulate emissions is crucial to support innovative, environmentally friendly products and to supply authorities with reliable facts and figures on solid fuel burning appliances. A common European test method would also prevent the establishment of trade barriers, which is a key goal of the European economic market.

Scope

This European Technical Specification (TS) describes a method to determine particulate emissions in the flue gas of residential solid fuel burning appliances (fed manually and/or by automatic feeding devices).

The test method is based on gravimetric particulate emission measurement collecting the entire flue gas flow under constant volume sampling (CVS) conditions by means of a dilution tunnel. The dilution tunnel parameters are kept in similar ranges for temperature levels and dilution ratios in the test runs for the different appliance burn rates and fuel loads as specified in the hENs.

The particulate emission comprises the total mass of solid and condensed matter of various shape, structure and density emitted in a test cycle of a solid fuel burning appliance.

Normative references

This Technical Specification incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this TS only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies.

Terms and definitions

For the purposes of the present Technical Specification, the following definitions apply:

3.1 BURN RATE

The mass of test fuel burnt per hour on dry fuel basis.

3.2 CONSTANT VOLUME SAMPLING

Method to sample all exhaust gases of an appliance at constant flow rate by diluting with air.

3.3 DILUTION RATIO

The dilution ratio is defined as the volume ratio of the total diluted gas volume and the undiluted flue gas volume at standard conditions on dry basis.

3.4 DILUTION TUNNEL

Sampling duct to allow constant volume sampling of the appliance exhaust gases with dilution air.

3.5 DILUTION TUNNEL FLOW VOLUME

The total volume of the diluted gas in the dilution tunnel during a test cycle.

3.6 DILUTION TUNNEL GAS FLOW RATE

Flow rate of the diluted gases in the dilution tunnel.

3.7 EMISSION SAMPLING SECTION

Section in the dilution tunnel where the particulate emission sampling train is attached.

3.8 EXTRACTION FAN

Fan installed in the dilution tunnel downstream of the emission sampling section capable of gathering and moving all flue-gases and entrained dilution air from the dilution tunnel extraction cowl to the dilution tunnel exhaust having sufficient flow to maintain dilution rate specifications.

3.9 FILTERS

Filter appropriate to collect the particulates in the sample gas.

3.10 PARTICULATE EMISSION

Total particulate mass emitted in a test cycle based on unit fuel mass dry, fuel net heating value or volume of flue gas.

3.11 PARTICULATE EMISSION CONCENTRATION

Average of the particulate emissions determined in the various test cycles at one and the same burn rate based on unit volume flue gas dry related to a given oxygen content in the flue gas [e.g. mg/ m_{std}³ at 13% O₂].

3.12 PARTICULATE EMISSION FACTOR BASED ON FUEL MASS

Average of the particulate emissions determined in the various test cycles at one and the same burn rate based on unit mass of dry test fuel [mg/kg dry fuel].

3.13 PARTICULATE EMISSION FACTOR BASED ON NET HEATING VALUE OF FUEL

Average of the particulate emissions determined in the various test cycles at one and the same burn rate based on net heating value of dry test fuel [mg/MJ].

3.14 PARTICULATE EMISSION RATE

Mass of particulate matter emitted per unit time [g/hr].

3.15 PARTICULATE EMISSION SAMPLE GAS VOLUME

The total volume of gas collected during a test cycle in the particulate emission sampling train.

3.16 PARTICULATE EMISSION SAMPLING TRAIN

Apparatus to withdraw part of the dilution tunnel gas to determine the particulate mass.

3.17 PARTICULATE EMISSION SAMPLING TRAIN GAS FLOW RATE

Gas flow rate in the particulate emission sampling train.

3.18 PARTICULATE MASS

The total mass of solid and condensed matter of various shape, structure and density emitted in a test cycle of a solid fuel burning appliance. The particulate mass is determined gravimetrically by the particulate sampling train after removal of water.

3.19 PORTION OF DILUTION TUNNEL GAS TO SAMPLING TRAIN GAS VOLUME

The portion of the dilution tunnel gas flow volume to the particulate emission sampling train gas volume sampled during a test cycle based at standard conditions without water vapour.

3.20 STANDARD CONDITION

Volume of gas at 273 K (0°C) and 1,013.25 hPa.

3.21 TEST CYCLE

Test run based on the fuel loading as specified in the relevant European standards.

3.22 TEST CYCLE DURATION

Elapsed time between the start and the end of a test cycle according to the relevant European standard.

Test method

4.1 PRINCIPLE

The appliance is installed on the test rig according to the relevant EN standard.

All the flue gas at the exhaust of the EN standard measurement section is collected in a cowl and mixed with ambient air in the dilution tunnel. An additional by pass supplies the dilution tunnel with air to achieve the required dilution ratio. The diluted gases are kept at constant flow. A sample of the diluted flue gas is withdrawn at a constant flow through the sampling train in which the particulate matter is collected on a filter and backup filter in series. The filter holders are maintained at ambient temperature.

The total mass of the particulate matter collected is determined of each test cycle conducted in accordance to the EN standards.

The particulate emission can be calculated as particulate emission factor (mg/kg fuel dry or mg/MJ), particulate emission rate (g/hr) or particulate concentration in the flue gas volume (e.g. mg/m_{std}³ at 13 vol% O₂).

4.2 APPARATUS

4.2.1 Dilution tunnel

The basic layout of the dilution tunnel test rig configuration is shown in Figure 1.

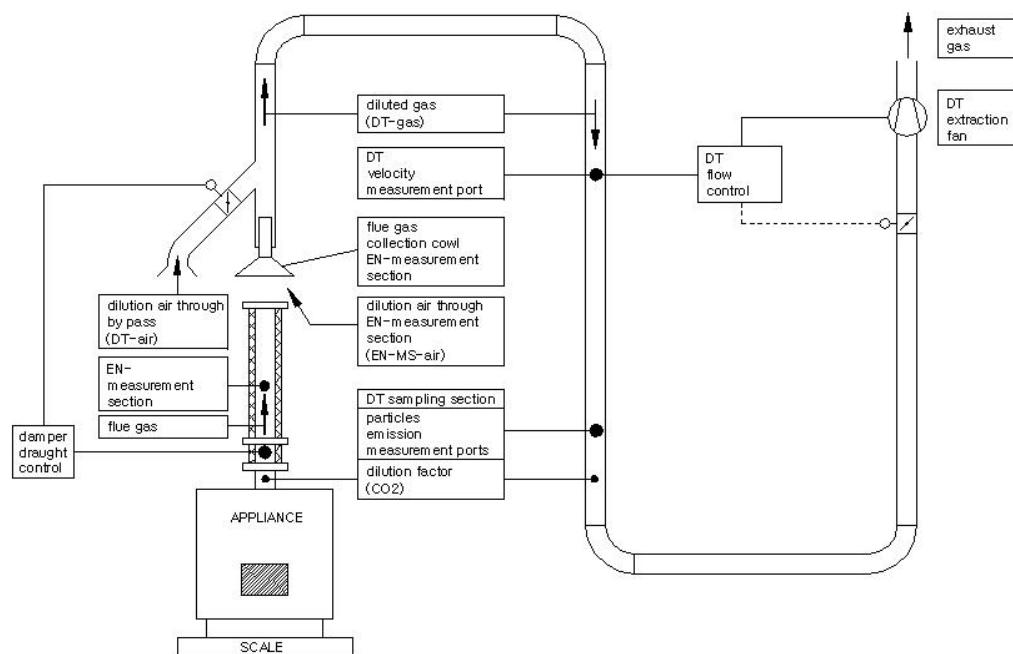


Figure 1 Basic layout of the dilution tunnel (DT) test rig facility to determine particulate emission parallel to EN-type test

4.2.1.1 Layout of the dilution tunnel ducts

The nominal diameter of the ducts shall be designed such that the dilution tunnel gas flow is in the range of 3...10 m/s at dilution ratios between 10 and 20. Table 1 gives an indication of the duct layout for burn rates between 1 kg/hr and 10 kg/hr.

Table 1 Dilution tunnel figures for a typical wood burning appliance operating at burn rates up to 3 kg/hr dry fuel with a mean oxygen content in the flue gas of 13 vol%. Test fuel beech (18% moisture, 13.9 MJ/kg fuel as fired). Ambient air temperature 20°C.

Nominal duct diameter D = 150 mm							
burn rate kg fuel dry/hr	fuel load kW	flue gas flow dry m_{std}^3/hr	flue gas temperature °C	DT gas flow m_{std}^3/hr	DT-gas velocity m/s	DT- tempera- ture °C	dilution ratio —
1	4.72	11.6	180	160	3.0	32.0	13.8
1.5	7.08	17.4	200	211	4.0	35.3	12.1
2	9.43	23.2	220	317	6.0	35.1	13.7
3	14.15	34.8	250	527	10.0	35.7	15.1
Nominal duct diameter D = 250 mm							
4	18.8	46.6	250	580	4	39	12.4
5	23.6	58.2	250	725	5.0	39	12.4
6	28.3	69.9	250	869	6.0	39	12.4
7	33.0	81.5	250	1'014	7.0	39	12.4
8	37.7	93.2	250	1'159	8.0	39	12.4
9	42.5	104.8	250	1'304	9.0	39	12.4
10	47.2	116.5	250	1'449	10.0	39	12.4

4.2.1.2 Flue gas collecting cowl

The collecting cowl is designed to collect the total flue gas of the appliance tested from the EN-measurement section. The cowl shall be of corrosion-resistant steel, with its large end having a minimum entry opening diameter of 3 D (D: nominal diameter), and an exit diameter capable for coupling to the nominal duct diameter. The cowl shall be placed centrally above the EN-measurement section outlet. The setup of the flue gas collecting cowl allows the flow of ambient diluting air into the dilution tunnel. A movable telescope type cowl eases the adjustment of the gap between the cowl and the EN-measurement section in order to provide the appropriate draught.

4.2.1.3 Dilution air by pass

The dilution air bypass is designed to add the diluting air required to the dilution tunnel to maintain dilution ratios below 20. The draught in the EN-measurement section is controlled by a damper in the duct of the dilution air bypass. The dilution tunnel flow required is controlled by the extraction fan or a damper in the outlet duct of the dilution tunnel.

4.2.1.4 Connectors

All connectors shall be made of seamless or longitudinally seamed stainless or corrosion-resistant steel with the nominal diameter (D). The connector nearest the cowl shall be at least 3 D long, the connector between the bends shall be at least 12 D long. The total length of the connectors from the cowl to the emission sampling port shall not exceed 60 D.

4.2.1.5 Bends

There shall be at least two 90° bends upstream from the sampling location for flow disturbance. These bends shall be of stainless or corrosion resistant steel and shall have the nominal inside diameter with a nominal centerline radius of 2 D to fit the ducts.

NOTE Segmental (lobster back) bends are permitted.

4.2.1.6 Measurement section

The measurement section shall be joined to the connector after the downstream bend and shall be one continuous length of either stainless or corrosion-resistant seamless or longitudinally seamed steel tube. The distance from the upstream bend to the Pitot tube port position shall be at least 8 D and the distance from the Pitot tube port to the emission sample port location shall be at least 4 D.

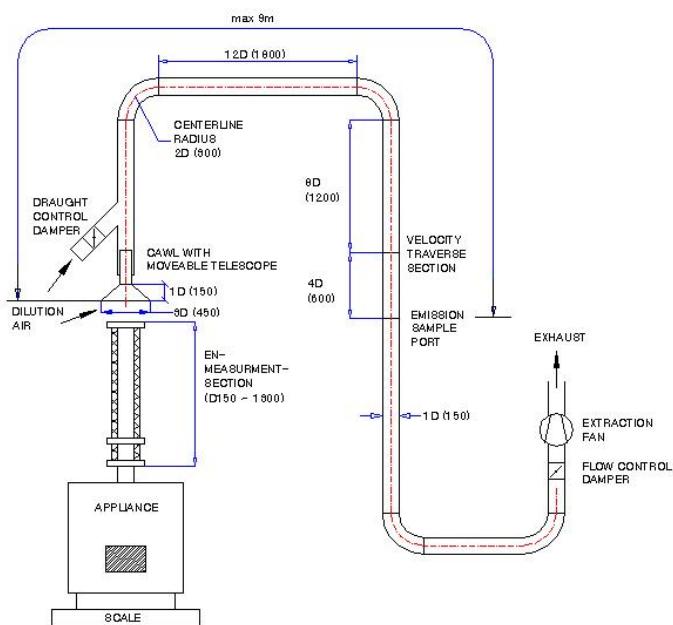


Figure 2 Dilution tunnel (DT) test rig facility to determine particulate emission (dimensions given in brackets for a set up with $D = 150$ connectors).

4.2.1.7 Extraction fan

An extraction fan shall be fitted after the sampling section, and shall carry exhaust gases clear of the test area. The system shall incorporate a means of adjusting the flow rate through the dilution tunnel, and be capable of maintaining a flow rate meeting the required dilution ratio at the respective burn rate.

4.2.1.8 Component assembly

The bends, connectors and sampling section shall be fitted so that they can be removed easily for cleaning.

4.2.1.9 Flow measuring device

Flow rates shall be measured with a standard Pitot tube of a known coefficient or an alternative device of at least equal accuracy. The Pitot tube shall be installed within 2 mm of the center of the velocity traverse section, and shall point directly upstream within 2° of the axis of the dilution tunnel.

4.2.1.10 Differential pressure gauge

A pressure measuring device for measuring the Pitot tube velocity head to within ± 1 Pa.

4.2.1.11 Dilution tunnel temperature monitoring

A temperature system for measuring the temperature in the dilution tunnel with a range up to 200°C with an accuracy of ± 1.0 K shall be installed at the sampling section.

4.2.2 Particulate emission sampling train

Apparatus for the collection of particulate emissions (see Figure 3). This shall include the following components.

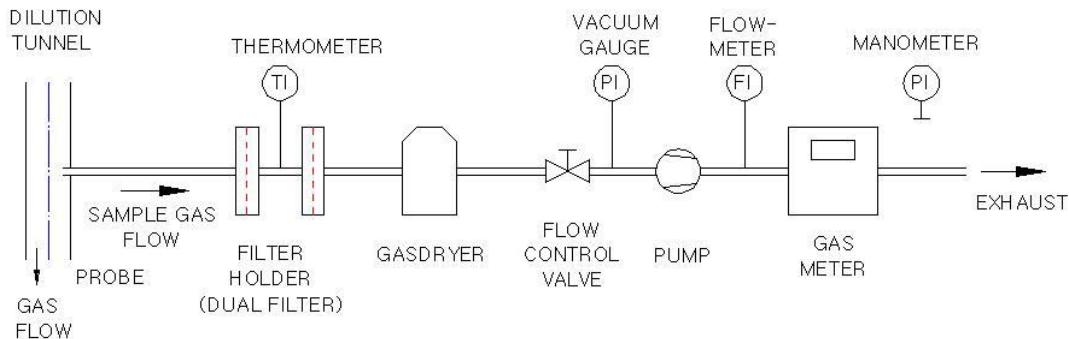


Figure 3 A typical arrangement of particulate emission sampling train used with the dilution tunnel

4.2.2.1 Sampling probe

A probe of seamless stainless steel of a nominal internal diameter of approx. 8 mm and a length of 300 mm to 600 mm with one end cut off at right angles as shown in Figure 3. The sampling port shall have means for positioning the probe end in the center of the sampling section of the dilution tunnel with a 90° angles to the flow.

4.2.2.2 Particulate matter filter

There are two filters placed in series with a filter and back up filter. The filters shall not be changed during a test cycle. The filter diameter shall be such, that the particulate mass sampled over a test cycle is sufficient in relation to the tare weights of the filter membranes in order to fulfill the required accuracy.

4.2.2.3 Filter holders

The two filter holders for the filter and back up filter are constructed of stainless steel, polytetrafluoroethylene (PTFE) or glass and capable of retaining filters described in section 4.2.2.2. The filter housing shall be kept at ambient temperature. Seals shall be incorporated to prevent sample gas bypassing the filters and to prevent air leakage flow to the filter housing.

4.2.2.4 Filter coupling

The first filter shall be positioned as close as is practicable to the end of the sample probe. The second filter assembly shall be positioned as close as is practicable to the first filter assembly so that the filter membranes are not more than 100 mm apart.

4.2.2.5 Filter housing temperature monitoring

A system for measuring the filter housing temperature with a range up to 50°C with an accuracy of ± 0.5 K.

4.2.2.6 Drying system

Equipment shall be capable of reducing the moisture content of the sample gas to less than 1.5 % moisture by volume. If carbon dioxide is measured in the sampling train, do not use silica gel as desiccant but anhydrous calcium sulfate, calcium chloride or magnesium.

4.2.2.7 Dry gas meter

A suitable instrument for measuring dry gas volume of the sampling train with a calibrated accuracy of ± 1 % of the volume sampled. The dry gas meter is installed downstream of the pump in order to have ambient pressure condition for the sample gas metering.

4.2.2.8 Sampling gas temperature measurement

A system for measuring the average temperature of the sampling gas passing through the dry gas meter over the range 10°C to 50°C to within ± 0.5 K.

4.2.2.9 Pressure gage

Device to measure the pressure in the sampling train line.

4.2.2.10 Indicating gas flow meter

Device to indicate the gas flow in the sampling train line with a range of 0.01...0.06 m_{std}³/min.

4.2.2.11 Pump

The pump shall be airtight and maintain a flow rate up to $0.06 \text{ m}_{\text{std}}^3/\text{min}$ through the sampling train. The pump is capable of extracting the gas sample at the required rate against the resistance imposed by the sample probe, filters, dryer and connecting tubes. The pump is installed upstream of the dry gas meter. The velocity in the sampling probe shall be maintained at approx. 3.5 m/s (there is approx. a flow of $0.01 \text{ m}_{\text{std}}^3/\text{min}$ with a 8 mm sampling probe diameter).

4.2.3 Dilution ratio measurement

The ratio of the dilution tunnel gas flow and the appliance flue gas flow shall be measured by the carbon dioxide (CO_2) concentration in the flue and in the dilution tunnel gases. The ratio of the CO_2 concentration in the dilution tunnel and the flue gas defines the dilution ratio. The hEN standards require CO_2 monitoring in the flue gas. An additional carbon dioxide analyzer for the CO_2 monitoring in the dilution tunnel can be installed at the emission sampling train exhaust. The carbon dioxide analyzer shall be capable of measuring CO_2 in the range of 0.05...2 vol% with an accuracy of $\pm 0.02\%$.

4.2.4 Reagents

4.2.4.1 Filters

Glass fiber filters to fit the filter holders, without organic binders and having at least 99,95 % collection efficiency on $0,3 \mu\text{m}$ dioctylphthalate smoke particles.

4.2.4.2 Desiccant

As desiccant silica gel (with indicator), anhydrous calcium sulfate, calcium chloride or magnesium perchlorate shall be used. If carbon dioxide in the sampling train is measured, do not use silica gel since it absorbs CO_2 but use anhydrous calcium sulfate, calcium chloride or magnesium perchlorate.

4.2.4.3 Acetone

Use general purpose reagent grade acetone.

4.2.5 Instrumentation

4.2.5.1 Ambient temperature measurement system

A system which measures ambient temperatures in the range of 10°C to 40°C with an accuracy of $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

4.2.5.2 Ambient air pressure measurement system

An instrument capable of measuring ambient barometric pressure within $\pm 3 \text{ hPa}$.

Test procedure

PREPARATION

5.1.1 Dilution tunnel

The dilution tunnel shall be clean at the commencement of the test cycle.

Note:

The dilution tunnel shall be inspected for pollution. It is recommended to replace the connectors after 60 tests.

5.1.1.1 Dilution tunnel flow rate

Place the Pitot tube at the midpoint of the sampling section. Adjust the exhaust fan damper or extraction fan speed to the desired flow in the dilution tunnel to maintain the required dilution ratio of 10 to 20. Once a constant flow is obtained at the midpoint of the duct, perform a velocity traverse. Calculate the total gas flow rate.

5.1.1.2 Flue gas collecting cowl and dilution air by pass

Locate the flue gas collecting cowl centrally over the EN-measurement section allowing some access of diluting air to the dilution tunnel. Leave the damper of the dilution air by pass in a throttled position (approx. 45°). Adjust the cowl to the EN-measurement section during the pretest such that the gap between EN-measurement section and cowl induces roughly the draught in the required range.

5.1.1.3 Induced draught in the EN-measurement section

Measure the draught induced in the EN-measurement section by the dilution tunnel extraction fan. Adjust the required induced draught with the damper in the bypass air.

5.1.1.4 Velocity measurement

After obtaining velocity traverse results that meet the flow rate requirements, choose a location for measurement of average velocity and place the Pitot tube at this location in the duct. Mount the Pitot to ensure no movement during the test cycle and seal the port holes to prevent air leakage.

5.1.2 Emission sampling train

During preparation and assembly of the sampling train, all openings where contamination can occur shall be covered.

5.1.2.1 Filters

Condition the filters by drying them at ambient conditions (temperature and pressure) for 24 hours in a desiccator containing the desiccant. Remove and weigh them within 1 minute to the nearest 0,1 mg using the balance. Tweezers or clean surgical gloves shall be used when placing the weighed filters in the filter holders.

5.1.2.2 Probe and filter holder

Rinse the probe and filter holder assemblies (upstream of the front filters) with acetone to clean it and remove moisture before drying.

Dry the filter gaskets and probe/filter holder assemblies (upstream of the front filters) within the desiccator for 24 hours at ambient conditions (temperature and pressure). Weigh each component. Record results to the nearest 0,1 mg. During each weighing, the period for which the components are exposed to the laboratory environment shall be less than 2 minutes. The filter gaskets can be weighed in sets to be used in each filter holder and kept in an identified container (glass or polyethylene Petri dishes) at all times except during sampling and weighing. The filter holder section between the front and second filter need not be desiccated or weighed.

5.1.2.3 Leak-check

A pre-test leak-check of the sampling train shall be carried out with a vacuum of 170 Pa. A post-test check at the conclusion of each test cycle shall be done with the greatest vacuum measured during the test cycle.

5.1.2.4 Drying system

Weigh the desiccant containers with the desiccant then assemble to the sampling train.

5.1.2.5 Sampling probe

The probe inlet shall be positioned at the midpoint of dilution tunnel cross section. Block off the duct openings to prevent air leakage.

5.1.2.6 Pump

Set the pump at the required sampling train gas flow.

5.1.2.7 Filter holders

Maintain the filter at ambient temperature.

5.2 MEASUREMENT

5.2.1 Test cycle

The appliance shall be installed according to the EN standard and conditioned either with a pre-test or during a previous test cycle.

Record the dry gas meter reading of the emission sampling train at the beginning and the end of the test cycle. The test fuel load shall be added to the appliance within 1 minute of starting the emission sampling train pump.

Check visually that the cowl is collecting all of the flue gas exhaust. If it is not, adjust the gap between the cowl and the EN-measurement section and the dilution air bypass damper. During the test cycle make periodic adjustment to keep the sampling train and dilution tunnel flow rate at the required level.

The dilution tunnel temperature shall be kept in the range of 25°C to 55°C. Do not change filters during the test cycle.

The sampling train pump shall be set in operation 1 minute after refuelling. The sampling train pump shall be shut off when the scales indicate that all but 50 grams of the test fuel load excluding calculated ash has been burned.

5.2.2 Determination of sample particulate masses

5.2.2.1 Probe and filter holders

When the sampling probe is cool, wipe the external surfaces of the probe to make sure that particulate material cannot contaminate the sample during the subsequent probe cleaning.

Dry the filters, filter gaskets and probe at ambient conditions (temperature and pressure) for at least 24 hours in the desiccator. Weigh each component and report the results to the nearest 0,1 mg.

Filters and filter gaskets may be weighed directly without a Petri dish. They may be weighed in pairs (front and back filters and front and back filter gaskets from the same filter train) to reduce handling and weighing errors.

During each weighing, the components shall not be exposed to the laboratory atmosphere for longer than two minutes.

5.2.2.2 Filters

Remove filters from filter holders by use of tweezers or a clean surgical glove. Place them in identified, clean Petri dishes, for which a tare weight has been determined. Carefully transfer all particulate material or filter fibers to the Petri dishes. Cover the Petri dishes before they are moved to the balance.

Dry the filters in the Petri dishes in a desiccator at ambient condition (temperature and pressure) for at least 24 hours. Allow them to stabilize to a constant mass. Weigh them to the nearest 0,1 mg within 1 minute of removal from desiccator.

5.2.3 Determination of water content in the sample gas

Weigh the desiccant containers.

Calculations

6.1 VOLUME OF GAS SAMPLED IN THE EMISSION SAMPLING TRAIN

6.1.1 Volume of gas sampled

Calculate the volume of dry gas at standard condition sampled during a test cycle from equation (1).

$$VSG_{ndry} = VSG_{asdry} \frac{273}{273 + TSG_m} \frac{pSG_m}{1013.25} \quad [\text{m}_{\text{std}}^3] \quad (1)$$

where:

VSG_{ndry} is the total volume of dry gas at standard condition sampled in the particulate emission sampling train during a test cycle $[\text{m}_{\text{std}}^3]$

VSG_{asdry} is the total volume of dry gas sampled in the sampling train during a test cycle $[\text{m}^3]$

TSG_m is the mean temperature of the gas sampled in the sampling train during a test cycle $[^\circ\text{C}]$

pSG_m is the mean pressure of the gas sampled at the inlet of the dry gas meter during a test cycle $[\text{hPa}]$

6.1.2 Moisture content of gas sampled

6.1.2.1 Volume of water vapour

With the water content determined according to 5.2.3 the volume of water vapor in the gas sampled can be calculated by equation (2).

$$VWV = vWV * MWV \quad [\text{m}_{\text{std}}^3] \quad (2)$$

where:

VWV is the volume of water vapor sampled during a test cycle $[\text{m}_{\text{std}}^3]$

vWV is the specific volume of water vapor ($vWV = 1.24 \text{ m}_{\text{std}}^3/\text{kg}$ water vapor)

MWV is the mass of water sampled according to 5.2.3 during a test cycle $[\text{kg}]$

6.1.2.2 Moisture content

Calculate the moisture content in the gas sampled from equation (3). Equation (3) gives also the mean moisture content in the dilution tunnel.

$$MCDT = \frac{VWV}{VWV + VSG_{ndry}} * 100 \quad [\%] \quad (3)$$

where:

$MCDT$ is the moisture content in the dilution tunnel gas $[\%]$

VWV is the volume of water vapor sampled during a test cycle $[\text{m}_{\text{std}}^3]$

VSG_{ndry} is the total volume of dry gas sampled at standard condition in the particulate emission sampling train during the test cycle $[\text{m}_{\text{std}}^3]$

6.2 VOLUME OF GAS IN THE DILUTION TUNNEL

6.2.1 Volume of gas with water vapour

Calculate the volume of the gas with water vapor in the dilution tunnel of a test cycle from equation (4).

$$VDT_{as} = wDT * areaDT * \Delta t * 3600 \quad [m^3] \quad (4)$$

where:

VDT_{as} is the total volume of gas in the dilution tunnel with water vapor of a test cycle [m^3]

wDT is the mean gas flow velocity in the dilution tunnel during the test cycle [m/s]

$areaDT$ is the area of the dilution tunnel duct [m^2]

Δt is the test cycle duration [h]

6.2.2 Volume of gas dry

Calculate the volume of the dry gas in the dilution tunnel of a test cycle from equation (5).

$$VDT_{awsdry} = VDT_{as} * \frac{100 - MCDT}{100} \quad [m^3] \quad (5)$$

where:

VDT_{awsdry} is the total volume of dry gas in the dilution tunnel of a test cycle [m^3]

VDT_{as} is the total volume of gas in the dilution tunnel with water vapor of a test cycle [m^3]

$MCDT$ is the moisture content in the dilution tunnel gas [%]

6.2.3 Volume of gas dry at standard condition

Calculate the volume of the dry gas at standard conditions in the dilution tunnel of a test cycle from equation (6).

$$VDT_{ndry} = VDT_{awsdry} * \frac{273}{273 + TDT_m} * \frac{pDT_m}{1013.25} \quad [m_{std}^3] \quad (6)$$

where:

VDT_{ndry} is the total volume of dry gas in the dilution tunnel at standard condition of a test cycle [m_{std}^3]

VDT_{awsdry} is the total volume of dry gas in the dilution tunnel of a test cycle [m^3]

TDT_m is the mean temperature in the dilution tunnel during the test cycle [°C]

pDT_m is the mean pressure in the dilution tunnel during the test cycle [hPa]

6.3 PORTION OF DILUTION TUNNEL TO SAMPLING TRAIN GAS VOLUME

Calculate the portion of dilution tunnel and sampling train gas volume (equation 7).

$$RATIO_{VDT-VSG} = \frac{VDT_{ndry}}{VSG_{ndry}} \quad [-] \quad (7)$$

where:

$RATIO_{VDT-VSG}$ is the portion of dilution tunnel and sampling train gas volume [-]

VDT_{ndry} is the total volume of dry gas in the dilution tunnel at standard condition [m_{std}^3]

VSG_{ndry} is the total volume of dry gas sampled in the sampling train at standard condition [m_{std}^3]

6.4 TOTAL PARTICULATE MASS SAMPLED

To calculate the total particulate mass collected in the sampling train apply equation (8).

$$m_{\text{tot}} = m_w + m_{F1} + m_{F2} \quad [\text{mg}] \quad (8)$$

where:

m_{tot} is the total mass of particulate material collected in the sampling train [mg]

m_w is the mass of particulate material from filter holder, filter gaskets and probe upstream backup filter according to 5.2.2.1 [mg]

m_{Fi} is the mass of particulate material collected on the filter and backup filter according to 5.2.2.2 [mg]

6.5 TOTAL PARTICULATE MASS EMITTED

To calculate the total particulate mass emitted by the appliance during a test cycle apply equation (9).

$$PM_{\text{total}} = \text{RATIO}_{\text{VDT-VSG}} * m_{\text{tot}} \quad [\text{mg}] \quad (9)$$

where:

PM_{total} is the total particulate mass emitted by the appliance during a test cycle [mg]

$\text{RATIO}_{\text{VDT-VSG}}$ is the portion of dilution tunnel and sampling train gas volume according to equation (7) [-]

m_{tot} is the total mass of particulate material collected in the sampling train according to equation (9) [mg]

6.6 PARTICULATE EMISSION FACTOR BASED ON FUEL MASS

Calculate the particulate emission factor based on fuel mass dry from equation (10).

$$PM - EF_{\text{mass}} = \frac{PM_{\text{total}}}{m_{\text{fueldry}}} \quad [\text{mg/kg}] \quad (10)$$

where:

$PM - EF_{\text{mass}}$ is the particulate emission factor based on fuel mass dry [mg/kg]

PM_{total} is the total particulate mass emitted by the appliance during a test cycle according to equation (10) [mg]

m_{fueldry} is the mass of fuel batch of the test cycle based on dry [kg]

6.7 PARTICULATE EMISSION FACTOR BASED ON FUEL NET HEATING VALUE

Calculate the particulate emission factor based on fuel net heating value based on fuel dry from equation (11).

$$PM - EF_{\text{NHV}} = \frac{PM_{\text{total}}}{m_{\text{fueldry}} * NHV_{\text{fueldry}}} \quad [\text{mg/MJ}] \quad (11)$$

where:

$PM - EF_{\text{NHV}}$ is the particulate emission factor based on fuel net heating value dry [mg/MJ]

PM_{total} is the total particulate mass emitted by the appliance during a test cycle according to equation (10) [mg]

m_{fueldry} is the mass of fuel batch of the test cycle based on dry [kg]

NHV_{fueldry} is the net heating value of test fuel dry [MJ/kg]

6.8 PARTICULATE EMISSION RATE

Calculate the particulate emission rate from equation (12).

$$PM - ER = \frac{PM_{total}}{1000 * \Delta t} \text{ [g/hr]} \quad (12)$$

where:

PM-ER is the particulate emission rate [g/hr]

PM_{total} is the total particulate mass emitted by the appliance during a test cycle according to equation (10) [mg]

Δt is the test cycle duration [h]

Informative annex**6.9 DILUTION RATIO**

To calculate the dilution ratio of the appliance flue gases in the dilution ratio apply equation (13).

$$RATIO_{DT-FG} = \frac{CO_2FG_m - CO_{2amb}}{CO_2DT_m - CO_{2amb}} \quad [-] \quad (13)$$

where:

$RATIO_{DT-FG}$ is the dilution ratio of the appliance flue gases [-]

CO_2DT_m is the mean concentration of carbon dioxide in the dilution tunnel during the test cycle [vol%]

CO_2FG_m is the mean concentration of carbon dioxide in the flue gases during the test cycle [vol%]

CO_{2amb} is the mean concentration of carbon dioxide in the ambient air [vol%]

6.10 PARTICULATE EMISSION CONCENTRATION

To calculate the appliance particulate emission concentration apply equation (14).

$$PM - CON = \frac{PM_{total}}{VDT_{ndry} / RATIO_{DT-FG}} \quad [\text{mg/m}_{\text{std}}^3] \quad (14)$$

where:

$PM-CON$ is the particulate emission concentration in the flue gases [$\text{mg/m}_{\text{std}}^3$]

PM_{total} is the total particulate mass emitted by the appliance during the test cycle [mg]

VDT_{ndry} is the total volume of dry gas in the dilution tunnel at standard condition [m_{std}^3]

$RATIO_{DT-FG}$ is the dilution ratio of the appliance flue gases according to equation (8) [-]

To calculate the appliance particulate emission concentration related to a standard oxygen content in the flue gas (e.g. @ 13 vol% O_2) apply the following equation (15):

$$PM - CON_{stand} = PM - CON * \frac{(21 - O_{2stand})}{(21 - O_{2mean})} \quad [\text{mg/m}_{\text{std}}^3 \text{ at } O_2 \text{ stand}] \quad (15)$$

where:

$PM-CON$ is the particulate emission concentration in the flue gases according to equation (14) [$\text{mg/m}_{\text{std}}^3$ at O_2 stand]

O_{2mean} is the mean oxygen concentration in the flue gases of the appliance during the test cycle [vol%]

O_{2stand} is the standard oxygen concentration to relay emission concentration in the flue gases (e.g. at 13 vol%) [vol%]