



**Paul Gothe**

**Strömungs- und  
Staubmeßtechnik**

Isokinetische Probenahme

Allgemeine Hinweise

**Paul Gothe Bochum**

**Fabrik Staub-, Gas- und strömungstechnische Meßgeräte**

44789 Bochum, Wittener Straße 82

44709 Postfach 908

www.paulgothe.de, Email: post@paulgothe.de

**Fax: (0234) 30 82 17, Tel.: (0234) 33 51 80**

## Allgemeine Hinweise zur Probenahme

### 1 Vorbemerkung

In der Richtlinie VDI 2066 und EN 13284-1 wird detailliert auf die Staubmessung eingegangen. Die dort aufgeführten Anforderungen sollten bekannt sein und sind maßgebend. Diese kurze Schrift kann nicht alle Details wiedergeben.

### 2 Grundlagen des Verfahrens

Durch die isokinetische Teilvolumenstromentnahme wird ein repräsentativer Volumenstrom durch einen Abscheider geleitet und Aerosole auf diesem angereichert. Durch diese Anreicherung ist eine analytische Bestimmung erst möglich.

### 3 Messanordnung

Der Aufbau der Messanordnung muss der jeweiligen Messaufgabe entsprechen. Im Folgenden wird eine typische Anordnung für eine Staubmessung beschrieben, die sich an die Richtlinie VDI 2066 Bl. 1 und EN 13284-1 anlehnt.

#### 3.1 Geräte und Betriebsmittel

##### 3.1.1 Geräte zur Probenahme

Alle gasführenden Teile sollten aus korrosionsbeständigem Titan gefertigt sein.

*Entnahmesonden*      Wirkdurchmesser 6 bis ca. 30 mm; gerade Sondenausführung  
*Filterkopfgerät*      bestehend aus Filterkopfgerät und Filterkopfgeräteeinsatz.

##### 3.1.2 Geräte zum Fördern, Einstellen und Messen des Teilvolumenstromes

<i>Gastrockenturm</i>	Silikagelfüllung; Mindestdurchmesser des Turms 70mm, Höhe der Füllung ca. 300 mm
<i>Kondensatabscheider</i> <i>Absaugeaggregat</i>	falls erforderlich, wird dem Trockenturm ein Gaskühler vorgeschaltet z.B. korrosionsbeständige Förderpumpe, Volumenstrom ca. 4 m <sup>3</sup> /h bei 400 mbar saugseitig
<i>Absaugerohr</i>	Innendurchmesser ca. 8 mm, Außendurchmesser bei Längen über 2 m mindestens 20 mm; um ein Zurückfließen von Kondensat in den Filterkopfgerät zu vermeiden, ist ggf. eine Heizung des Absaugerohres oder der Einbau einer Kondensatfalle vorzusehen.
<i>Gasvolumenmessgerät</i>	Gasvolumenzähler zum Messen des durchgesetzten Gasvolumens, Nennbelastbarkeit 6 m <sup>3</sup> /h, Eichfehlergrenze 2%, zulässiger Unterdruck gegen Atmosphäre 200 mbar
<i>Schwebekörper</i> <i>Temperaturmessgeräte</i>	zur Kontrolle des Teilvolumenstromes zum Messen der Gastemperatur am Gasvolumenzähler und der Abgastemperatur an der Entnahmestelle
<i>Differenzdruckmessgerät</i>	zum Messen des Differenzdruckes am Gasvolumenzähler und im Abgaskanal gegen den atmosphärischen Luftdruck
<i>Zeitmessgerät</i> <i>Barometer</i>	zum Messen der Probenahmedauer zum Messen des atmosphärischen Luftdruckes am Messort

Der Wirkdruck kann z.B. mit einer Prandtl-Sonde in Verbindung mit einem Mikromanometer gemessen werden. Die Dichte muss aus Druck, Temperatur, (Gaszusammensetzung und den molaren Massen der Gaskomponenten) berechnet werden.

Über die Fa. Paul Gothe GmbH kann eine Excel-Datei bestellt werden, die eine Auswertung vereinfacht.

### 3.1.3 Zubehör für die Vor- und Nachbehandlung der Filterplatten im Labor

<i>Waage</i>	Auflösungsvermögen mindestens 0,1 mg; Aufstellung möglichst in einem temperatur- und feuchte konstanten Raum (Empfehlung: Temperatur ca. 20°C, rel. Feuchte konstant im Bereich 50 bis 60%)
<i>Trockenschrank</i>	zum Ausheizen der Filterplatten auf ca. 250°C
<i>Glühofen</i>	nur erforderlich für den Fall höherer Einsatztemperaturen (über 250°C)
<i>Exsikkator</i>	zum Äquilibrieren der Proben
<i>Transportbehälter</i>	für die Aufnahme der Filterkopfgeräteinsätze bzw. Filterkopfgerätstufen

### 3.1.4 Betriebsmittel

<i>Filterplatten</i>	mit Glasfaser- oder Quarzfaserfilter
<i>Trocknungsmittel</i>	Silikagel mit Farbindikator

## 3.2 Aufbau der Messanordnung

Der prinzipielle Aufbau der Messanordnung ist entsprechend der Einrichtung des Messplatzes für Staubmessungen nach Richtlinie VDI 2066 Bl. 1 und EN 13284-1 vorzunehmen.

Der Filterkopfgerät ist mit einer geraden Einlaufsonde nach VDI 2066 Bl. 2 oder 7 oder EN 13284-1 zu bestücken und entgegen der Strömungsrichtung im Abgaskanal einzusetzen.

Abweichend von der dargestellten Messanordnung kann es in Sonderfällen, wie z.B. bei übersättigten Abgasen, notwendig werden, das Filterkopfgerät außerhalb des Abgaskanals anzuordnen. Dabei sind dem Filterkopfgerät ein Absaugerohr, ein Krümmer sowie die Entnahmesonde vorgeschaltet. Diese sind ggf. zu beheizen. Bei dieser Anordnung können sich im Entnahmesystem Partikel an den Wänden ablagern und dadurch der Abscheidung im Filterkopfgerät verloren gehen.

## 4 Vorbereiten und Durchführen der Messung

### 4.1 Auswahl und Vorbehandeln der Filterplatten

Für jede Messung müssen ein geeigneter Satz Filterplatten ausgewählt und vorbehandelt werden. Für die Bestimmung der Verfahrenskenngrößen sollte zudem eine Filterplatte als Blindwertprobe mitgeführt werden.

Filterplatten (Filterhalter) bestehen aus Titan, die in der Regel inert gegenüber den Bestandteilen des Teilgasstromes sind, damit bei der Messung keine Massenänderungen infolge chemischer Reaktionen auftreten.

Die Filterplatten mit den Filtern aus Glas- oder Quarzfaser werden einzeln in Schälchen aus Aluminiumfolie oder Glasschale gelegt und in einem Trockenofen mindestens 1 h bei einer Temperatur von 180°C ausgeheizt. Soll das Filterkopfgerät bei höheren Temperaturen als 160°C eingesetzt werden, ist darauf zu achten, dass die Filterplatten bei entsprechend höherer Temperatur (20°C über der höchsten Temperatur) vor- und nachbehandelt werden, um z.B. einen möglichen Bindemittelschwund bei den Messungen zu vermeiden. Nach der Wärmebehandlung müssen sie mit den Aluminiumschälchen oder Glasschalen vor dem Wiegen mindestens 1 h im Exsikkator abgekühlt werden. Nach der Wägung sind sie vor Staub geschützt in Petrischalen aufzubewahren. Die Aluminiumschälchen, in denen Filterplatten und Endfilter während der gesamten Vorbehandlung und auch nach der Messung zur Nachbehandlung verbleiben, lassen sich aus Aluminiumfolie, wie sie im Haushalt verwendet wird, anfertigen. Passende Glasschalen sind bei der Fa. Paul Gothe zu beziehen.

Die vorgewogenen Filterplatten können am Messort in das Filterkopfgerät eingelegt werden. Der Transport der vorbereiteten Filterplatten zum Einsatzort und der belegten Filterplatten ins Labor hat mit besonderer Sorgfalt zu erfolgen.

Die einzelnen Filterplatten müssen eindeutig identifizierbar sein. Da sie selbst nicht gekennzeichnet werden dürfen (Gewichtsänderung), empfiehlt es sich, die Wiegeschalen mit der Probennummer zu kennzeichnen. Beim Ein- und Auslegen ist dann auf strikte Einhaltung der Reihenfolge zu achten.

## 4.2 Vorbehandeln der Filterkopfgeräte

Die Einzelteile der Filterkopfgeräte sind vor jeder Messung im Ultraschallbad zu reinigen. Als Reinigungsmittel genügt im allgemeinen Leitungswasser, dem etwas Spülmittel zugegeben wird, oder Alkohol. Bei Verwendung von Leitungswasser ist gründliches Nachspülen mit destilliertem Wasser zur Vermeidung von Kalkablagerungen notwendig.

Düse, Filterplatten (Filterhalter) und Dichtungen sind nach dem Trocknen visuell auf grobe Beschädigungen zu kontrollieren. Beim Zusammenbau ist darauf zu achten, dass Dichtungen, Filterplatten nicht beschädigt werden. Alle Gewinde sind hinterstochen, so dass die Dichtung nicht im Gewinde liegt. Es gibt kein schwergängiges Gewinde. Lassen sich die Gewindeteile nicht leicht zusammendrehen, muss das Gewinde kontrolliert werden. Ist es frei von Graden und Dichtungen?

## 4.3 Durchführen der Messung

### 4.3.1 Messplanung

Vor der Messung ist eine Messplanung entsprechend Richtlinie VDI 2066 Bl. 1 und EN 13284-1 durchzuführen. Dazu gehört die Festlegung der Anzahl und der Anordnung der Messpunkte. Bei der Gesamtstaubmessung mit einer Filterkopfsonde ist der Gasdurchsatz nach Festlegen des Sonden­durchmessers in Bereich des für das Filterkopfgerät geeigneten und validierten Bereich wählbar (z.B. Planfilterkopfgeräte und Hülsenfilter bis max. 4 m<sup>3</sup>/h), und muss während einer Messung (Probenahme) bei Änderungen der Geschwindigkeit, Temperatur, Druck und Gaszusammensetzung angepasst werden. Starke Abweichungen in den Geschwindigkeiten sollten nicht vorliegen (Abweichungen von bis 1:3 sind zulässig) können aber in einer einzelnen Messung erfasst werden.

Wenn zu erwarten ist, dass der Massenanteil an Partikeln mit Durchmessern über 10 µm mehr als ca. 15% beträgt, muss ggf. die Ablagerungen an Krümmer und Wänden berücksichtigt werden. Staubgehalte im Abgas von mehr als 100 mg/m<sup>3</sup> sind ein Hinweis auf nennenswerte Anteile an Partikeln mit Durchmessern über 10 µm.

### 4.3.2 Abgasdaten

Um angenähert geschwindigkeitsgleiche Absaugbedingungen einstellen zu können, ist es notwendig, die Abgasgeschwindigkeit an den vorgesehenen Messpunkten zu bestimmen. Dieses lässt sich mit Staurohren von Gothe ermitteln.

### 4.3.3 Handhabung des Filterkopfgeräts im Betrieb

Die Staubmessung mittels Filterkopfgerät erfolgt nach VDI 2066. Nachfolgend sind die einzelnen Arbeitsgänge dargestellt.

Beim Einführen des Filterkopfgerät-Entnahmesystems in den Abgaskanal ist darauf zu achten, dass der an der Kanalwandung haftende oder abgelagerte Staub nicht in die Sonde gelangt. Ferner muss vermieden werden, dass die Druckdifferenz zwischen Abgaskanal und Umgebung eine Strömung durch das Filterkopfgerät verursacht. Das Absperrventil ist zu diesem Zweck dicht geschlossen zu halten und erst nach Inbetriebnahme des Absaugeaggregats zu öffnen.

Vor Beginn des Absaugens empfiehlt es sich, insbesondere bei Messungen im Abgas, dessen Temperatur nur wenig über der Taupunkttemperatur liegt, das Entnahmesystem so lange vorzuwärmen, dass Taupunktunterschreitungen im Filterkopfgerät vermieden werden. Die Vorwärmung kann grundsätzlich extern in einem Ofen durchgeführt werden oder durch eine ausreichend lange Verweilzeit des Filterkopfgeräts vor der Messung im Abgasstrom. Dabei muss die Sondenöffnung in Strömungsrichtung des Abgases ausgerichtet sein, damit nicht bereits vor der Messung Partikel in das Filterkopfgerät gelangen.

Während der Absaugzeit (Probenahmedauer) ist die Sonde in den einzelnen Messpunkten stets entgegen der Strömungsrichtung des Abgases auszurichten.

Die Absaugzeit sollte so bemessen sein, dass einerseits auf dem Filter eine mit ausreichender Genauigkeit wägbare Staubmasse gesammelt wird, andererseits eine Überladung vermieden wird.

Am Ende einer Einzelmessung oder beim Wechseln des Entnahmesystems in eine andere Messöffnung ist jeweils vor dem Abschalten des Absaugaggregats das Absperrventil zu schließen, um Rückströmungen durch das Filterkopfgerät zu vermeiden. Danach ist die Sonde in Strömungsrichtung auszurichten und aus dem Abgaskanal zu entfernen. Filterkopfgerät bzw. Filterkopfgeräteeinsatz werden aus der Messeinrichtung ausgebaut. Bis zur Auswertung ist der Filterkopfgeräteeinsatz staubdicht aufzubewahren. Trocknen und Rückwägen von den Filterplatten erfolgen unter gleichen Bedingungen wie bei der Bestimmung der Leermasse. Dabei können mögliche Veränderungen des aufgefangenen Staubes die Trocknungstemperatur der belegten Filterplatten begrenzen.

Ablagerungen im Entnahmesystem sind zu erfassen und bei der Auswertung zu berücksichtigen.

Die Filterplatten der einzelnen Filterkopfgeräte sollten vor bzw. nach der Rückwägung einer weiteren Kontrolle unterzogen werden, um möglichen Fehlmessungen bzw. -interpretationen vorzubeugen:

- Ist eine Verfärbung des Endfilters zu erkennen, so ist möglicherweise während der Probenahme oder unmittelbar danach Kondensat in das Endfilter zurückgelaufen oder der Taupunkt im Filterkopfgerät während der Messung unterschritten worden. Dieser Fehler führt zu Mehrbefunden. Nicht zu verwechseln mit der durch den farbigen Staub bedingten farblichen Änderung des belegten Filters.

#### **4.3.5 Behandeln der Filtereinsätze**

Die Filterkopfgeräteeinsätze sind mit äußerster Sorgfalt zu behandeln. Für den Transport können Behälter von Gothe eingesetzt werden, in denen mehrere Einsätze in separaten Kammern untergebracht werden. Die Behälter sind nur senkrecht zu transportieren. Sie dürfen weder gekippt noch großen Erschütterungen ausgesetzt werden. Der Ein- und Ausbau der Filterkopfgeräteeinsätze hat an einem zugfreien Ort zu erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass die Filterplatten nicht beschädigt oder verunreinigt werden.

Steht am Messort kein Labor zur Verfügung, müssen die gebrauchten Filterkopfgeräteeinsätze mit der notwendigen Umsicht in das eigene Labor zurücktransportiert werden.

#### **4.3.6 Auswerten der Filtereinsätze im Labor**

Bevor die Filterplatten nach der Probenahme gewogen werden, sind sie wieder, entsprechend ihrer Vorbehandlung, einzeln in dieselben gekennzeichneten Wiegeschälchen zu legen sowie 1 h im Trockenofen einer Temperatur von 160°C auszusetzen und im Exsikkator abzukühlen.

Lose auf den einzelnen Stufen des Filterkopfgeräts liegender Staub ist mitzuwiegen. Bei ausreichend belegtem Filter genügt eine Waage mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 mg.

Bitte unbedingt die Hinweise der EN 13284-1 beachten!

#### **4.3.7 Auswerten des Einlaufkonus**

Zur Auswertung sollte die im Einlaufkonus abgeschiedene Staubmasse durch Differenzwägung bestimmt werden. Dabei ist eine Wiegegenauigkeit von 0,1 mg anzustreben. Ist eine Differenzwägung nicht möglich, so muss die abgeschiedene Staubmasse quantitativ aus dem Einlaufkonus in ein Wiegeschälchen überführt werden.

Dazu wird der Einlaufkonus ausgewaschen. Zunächst ist dieser von außen gründlich zu säubern. Der so gereinigte Einlaufkonus wird anschließend mit Alkohol ausgespült.

Die Staubmasse kann durch Ausfiltrieren an einem Membranfilter mit ca. 1 bis 2 µm Porenweite aus der Suspension bestimmt werden. Sind lösliche Substanzen enthalten, ist die Suspension zur Massenbestimmung einzudampfen.

#### **4.3.8 Messungen bei hohem Wasserdampfanteil**

Bei Abgasen mit hohem Wasserdampfanteil kann die Bestimmung des durch den Filterkopfgerät durchgesetzten Gasvolumens durch Fehler bei der Messung des Wasserdampfanteils beeinträchtigt sein. Wird das Gasvolumen mittels eines Volumenzählers mit vorgeschaltetem Trockenturm gemessen, ist eine sorgfältige Messung des Wassertaupunktes notwendig, um den Fehler bei der Umrechnung des trockenen auf das feuchte Gasvolumen gering zu halten. Dies gilt insbesondere bei Wassertaupunkten über 80°C.

Liegt die Abgastemperatur nur wenig über dem Taupunkt oder ist sie gleich dem Taupunkt, so ist das Filterkopfgerät vor dem Einbau in den Abgaskanal extern um ca. 50°C über die Abgastemperatur aufzuheizen. Nach dem Einbau ist zu warten, bis sich die Temperatur des Filterkopfgeräts der Abgastemperatur angeglichen hat. Erfahrungsgemäß sind hierfür 15 min ausreichend. Kondensationen im Filterkopfgerät werden so vermieden.

Durch Verwendung einer beheizten Drosselmessstrecke in Verbindung mit einem beheizten Absaugrohr kann der Volumenstrom durch das Filterkopfgerät einschließlich des Wasserdampfanteils direkt gemessen werden.

In übersättigten Abgasen mit Tröpfchenbildung muss in der Regel eine beheizte Entnahmeeinrichtung mit außerhalb des Abgaskanals betriebenem Filterkopfgerät eingesetzt werden. Vorhandene Tröpfchen trocknen bei dieser Anordnung ein und bilden aus gelösten und ungelösten Verunreinigungen Restkerne, die als wesentlich kleinere Feststoffpartikeln auf dem entsprechenden Filter abgeschieden werden. Wegen verstärkter Abscheidung grober Partikeln in der Entnahmeeinrichtung ist, wenn nur eine Auswertung der Filter stattfindet, die Verwendung dieser Anordnung auf Partikeln mit Durchmessern unter 4 µm begrenzt. Andernfalls müssen Düsen, Krümmer und Absaugsonde gespült werden.

#### 4.3.9 Auswahl geeigneter Entnahmesonden

Der Volumenstrom eines Filterkopfgeräts kann nicht frei gewählt werden, sonst findet eine Trennung der Partikel im Gasstrom statt. Es ist daher notwendig, das Filterkopfgerät während der Messung mit isokinetischen Volumenstrom zu betreiben. Im Hinblick auf eine annähernd geschwindigkeitsgleiche Teilstromentnahme ist ein Satz geeigneter Entnahmesonden erforderlich. Der geeignete Sonden-durchmesser wird in Abhängigkeit vom angestrebten Teilvolumenstrom und der Abgasgeschwindigkeit nach folgender Beziehung berechnet oder über die Excel-Datei ermittelt:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}}$$

d = Durchmesser der Entnahmesonde in m

V = Teilvolumenstrom unter Betriebsbedingungen in m<sup>3</sup>/s

W = Geschwindigkeit des Abgases in m/s.

Aus dem Satz der vorhandenen Entnahmesonden ist für die Messung diejenige auszuwählen, deren Querschnittsfläche den Abmessungen der berechneten Sonde am nächsten kommt. Im praktischen Einsatz haben sich Sonden bewährt, deren Querschnittsflächen jeweils um den Faktor 1 abgestuft sind. Dabei sollte der Sonden-durchmesser nicht kleiner als 6 mm sein.

Bei Einsatz von gekrümmten Sonden (Schwanenhalsdüsen) sollte diese, wegen der verstärkten Abscheidung grober Partikeln in einer gekrümmten Sonde, nur für Partikeln mit Durchmessern unter 4 µm eingesetzt werden oder nach der Probenahme ausgespült werden.

#### 4.3.10 Berechnen des Teilvolumenstromes

Der abzusaugende Teilvolumenstrom kann mit der Excel-Datei berechnet werden (kann bei der Fa. Paul Gothe bezogen werden).

Dieser ist auf den Gaszustand im Gasvolumenzähler umzurechnen:

$$V_z = V_m \cdot \frac{T_z \cdot P_m}{T_m \cdot P_z} \cdot S$$

$V_z$  = Volumenstrom im Gasvolumenzähler  $\text{m}^3/\text{s}$

$V_m$  = Teilvolumenstrom unter Betriebsbedingungen in  $\text{m}^3/\text{s}$

$T_z$  = Temperatur des Gases im Gasvolumenzähler in K

$T_m$  = Temperatur des Gases an der Messstelle (Abgaskanal) in K

$P_z$  = absoluter Druck im Gasvolumenzähler in bar

$P_m$  = absoluter Druck an der Messstelle (Abgaskanal) in bar

$S$  = Verhältnis der Volumina des trockenen und des feuchten Gases

$T_z$  und  $P_z$  sind zunächst nicht bekannt. Es müssen Schätzwerte als erste Näherung in die Rechnung eingesetzt werden. Auf der Basis dieser Schätzwerte wird die erste Einstellung des Volumenstromes durch den Filterkopfgerät vorgenommen. Bei genügend langer Messdauer kann mit den sich zu Beginn der Messung einstellenden Werten nachkorrigiert werden.

Für eine kurze Messdauer empfiehlt es sich, die mit den geschätzten Werten für Temperatur und Druck am Gasvolumenzähler gefundene Einstellung beizubehalten, da sonst die zum Einstellen des Volumenstromes notwendige Zeit einen zu großen Anteil an der Messdauer beansprucht.

Der Volumenstrom  $V_z$  lässt sich mit Hilfe eines Schwebekörperdurchflussmessgerätes kontrollieren.

#### 4.3.11 Abschätzen der Messdauer

Die Dauer der Messung lässt sich aus der angestrebten Beladung des Filterkopfgeräts und dem Staubgehalt des Abgases nach folgender Beziehung abschätzen:

$$T = \frac{m}{q_f \cdot V_m} = \frac{m}{q_{tr} \cdot V_z}$$

$T$  = Dauer der Messung in s

$M$  = angestrebte Beladung des Filterkopfgeräts in mg

$V_m$  = Teilvolumenstrom unter Betriebsbedingungen in  $\text{m}^3/\text{s}$

$V_z$  = Volumenstrom im Gasvolumenzähler in  $\text{m}^3/\text{s}$

$q_f$  = Staubmassenkonzentration im Abgas, bezogen auf den Betriebszustand in  $\text{mg}/\text{m}^3$

$q_{tr}$  = Staubmassenkonzentration im trockenen Gas, bezogen auf den Zustand bei Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck in  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Die Beladbarkeit des Filterkopfgeräts hängt u.a. von der Partikelgrößenverteilung ab. Für enge Partikelgrößenverteilungen können sich wegen möglicher Überladung wesentlich kürzere Messdauern ergeben. Im Zweifelsfall, z.B. wenn der Staubgehalt nicht bekannt ist, muss die Messdauer aus der visuellen Beurteilung der beaufschlagten Filterplatten nach dem ersten Einsatz abgeschätzt werden. Dies ist nur mit einiger Erfahrung möglich. Besser ist es, die erste Messung exakt auszuwerten und dann den Filterkopfgerät bei der wiederholten Messung gezielter einzusetzen. Der Unterdruck hinter dem Filter sollte nicht mehr als 300 mbar betragen (Gefahr von Filterriss, der Unterdruck kann an dem Manometer der Pumpe abgelesen werden).

Die Probenahme muss insgesamt 30 Minuten betragen.

## 5 Auswerten der Messdaten

Als unmittelbares Ergebnis einer Filterkopfgerätemessung erhält man durch Wägung die auf den einzelnen Filterplatten gesammelte Staubmasse.

## 6 Verfahrenskenngrößen und Anwendungsbereiche

Die in VDI 2066 und EN 13284-1 genannten Verfahrenskenngrößen müssen eingehalten werden.

### 6.1 Filterkopfgerätbeladung

Grundsätzlich sind hohe Beladungen des Filters günstig für die Auswertung, sie verringern den Einfluss von Wiegefehlern. Für die Beladung ist das nach Filtermedium zulässige Gesamtgewicht nicht zu überschreiten (Planfilter bis zu 20 mg, Hülsen bis zu 1 g).

In Fällen, in denen die stoffliche Zusammensetzung des Staubes bekannt ist, kann bei Einsatz eines maßanalytischen Bestimmungsverfahrens, das eine ausreichende Nachweisempfindlichkeit hat, mit niedrigeren Filterkopfgerätebeladungen gearbeitet werden.

### 6.2 Staubgehalt

Die Grenzen für den Staubgehalt des Abgases, innerhalb denen der Filterkopfgerät eingesetzt werden kann, ergeben sich aus der Beladbarkeit und der Forderung nach einer vernünftigen Messdauer (30 Minuten).

### 6.3 Temperaturbereich

Bei Einsatz von Titan: max. 400°C. Bei Edelstahl: max. 500°C. Sonderstahl bis 1100°C. Filtermedien: Glasfaser bis max. 150 – 500°C, Quarzfaser bis zu 950°C (Herstellerangaben berücksichtigen)

## 7 Fehlermöglichkeiten und Fehlerbewertung

Die Messfehler und ihre Einflüsse auf die Kenngrößen lassen sich wie folgt abschätzen:

### a) Staubmassen auf den einzelnen Filterkopfgerätestufen

Fehler bei der Bestimmung der Staubmassen können entstehen durch

- unsachgemäße Handhabung des Filterkopfgeräts (Kondensatbildung infolge Taupunktunterschreitung, mechanische Beschädigung der Filterplatten, mangelnde Haftung der Partikeln bei Verwendung ungeeigneter Filterplatten.
- Einflüsse des Abgases auf die Filterplatten (Massenzunahme oder -abnahme durch Sorption und chemische Reaktion des Plattenmaterials mit einzelnen Komponenten des Abgases, Glasfaserfilter ggf. nicht einsetzen)
- thermische Instabilität der Filter (Bindemittelschwund, unzureichende Konditionierung, falsche Ausheiztemperatur oder Ausheizdauer
- Wiegefehler (begrenzte Ablesegenauigkeit der verwendeten Waage)

Bei sachgerechter Handhabung des Filterkopfgeräts und richtiger Auswahl der Filter gemäß den Anweisungen nach VDI 2066 und EN 13284-1 lässt sich der Fehler in der Massenbestimmung für die einzelnen Filterkopfgeräte auf  $\pm 0,5$  mg begrenzen. Dies bewirkt einen Fehler der Durchgangssumme bzw. Rückstandssumme von ca.  $\pm 3\%$ .

### b) Zusammensetzung des Abgases

Fehler in der Bestimmung der Zusammensetzung des Abgases wirken sich auf die Berechnung der Gasviskosität und bei der Umrechnung des trockenen Gasvolumens, ermittelt mit einem Gasvolumen-

zähler, auf das feuchte Gasvolumen im Betriebszustand aus. Wird der Volumenanteil der einzelnen Komponenten mit einem relativen Fehler von weniger als 5% bestimmt, so ist der Einfluss auf die Gasviskosität vernachlässigbar.

Bei einem Wasserdampfanteil des Abgases bis zu 50% lässt sich dieser mit einem relativen Fehler von  $\pm 2\%$  bestimmen. Dies ergibt für das durch den Filterkopfgerät durchgesetzte Gasvolumen einen relativen Fehler von  $\pm 1\%$ . Bei höheren Wasserdampfanteilen sollte die Volumenbestimmung mittels einer Drosselmessstrecke erfolgen.

#### c) Temperatur des Abgases

relativer Fehler ca.  $\pm 0,5\%$

#### d) Drücke des Abgases

statischer Druck: relativer Fehler ca.  $\pm 0,2\%$

dynamischer Druck: relativer Fehler ca.  $\pm 10\%$

#### e) Durchgesetztes Teilvolumen – Messung mit Gasvolumenzähler

relativer Fehler ca.  $\pm 2\%$

Fehler in der Bestimmung der Messdauer sind in der Regel vernachlässigbar. Bei extrem kurzer Messdauer (unter 3 min) muss wegen der Einstellung des Volumenstromes jedoch mit einem relativen Zeitfehler von 5% gerechnet werden.

## 8 Warten und Überprüfen der Messeinrichtung

### 8.1 Wartungsarbeiten im Laboratorium

Nach jedem Messeinsatz ist das Filterkopfgerät sorgfältig zu reinigen. Insbesondere sind die Gewinde des Filterkopfgerätegehäuses mit einer feinen Messingdrahtbürste zu reinigen. Durch diese Maßnahme kann einem Festsetzen verschmutzter Gewinde im praktischen Einsatz vorgebeugt werden.

Die Düsen sind nach jedem Einsatz im Ultraschallbad zu reinigen und durch Sichtkontrolle auf mögliche Beschädigungen zu überprüfen. In größeren Zeitabständen empfiehlt sich eine Kontrolle der Filterplatten und Düsen durch den Hersteller.

In vorgegebenen Zeitabständen sollte die Kalibrierung des Gasvolumenzählers oder der Drosselmessstrecke sowie der Temperatur- und Druckmesseinrichtungen überprüft werden, um Beeinträchtigungen der Messgenauigkeit durch zum Teil korrosive Abgase zu vermeiden.

### 8.2 Überprüfen der Messeinrichtung vor dem Einsatz

Beim Einbau oder Austausch des Filterkopfgeräteinsatzes ist darauf zu achten, dass kein Schmutz von den Filterkopfgerätebauteilen auf den Filterkopfgeräteinsatz gelangt.

Vor Beginn jeder Messung ist die gesamte Messeinrichtung auf Dichtheit zu prüfen. Dazu ist die Sondenöffnung mit einem Stopfen zu verschließen und im Meßsystem ein Unterdruck von ca. 250 mbar zu erzeugen oder mindestens den erwarteten Unterdruck. Wenn weder das Schwebekörperdurchflussmessgerät noch der Gasvolumenzähler dabei einen Gasvolumenstrom anzeigen, ist die Messein-

richtung dicht. Zulässig wäre ein Gasvolumenstrom unter 2 % von dem Gasvolumenstrom während der Messung.

Die Silikagelfüllung des Trockenturmes ist rechtzeitig zu erneuern (Indikatorfärbung beachten) und, soweit vorhanden, die Kondensatfalle zu entleeren. Das Silikagel lässt sich regenerieren, in dem es im Trockenschrank bei 80- 120°C gelagert wird. Je nach Temperatur und Menge kann dieses mehrere Stunden dauern. Der Indikator zeigt den Zustand der Trocknung an. Vorsicht, die Temperatur nicht zu hoch wählen. Die neuen Silikagele enthalten organische Indikatoren, die sich bei hohen Temperaturen zersetzen.

## **9 Einsatzmöglichkeiten**

Die Filterkopfgeräte der Firma Paul Gothe entsprechen den VDI und EN-Standards und können somit überall zur Messung einer Aerosolfracht eingesetzt werden.

## **10 Tipps bei der Probenahme:**

### **10.1 Isokinetische Absaugung:**

Die geschwindigkeitsgleiche Absaugung soll angestrebt werden. Die Fehler bei zu hoher Absauggeschwindigkeit sind kleiner, als bei zu geringer. Gewählt wird die Düse mit dem nächst kleineren Durchmesser, es sei denn, die Differenz zum nächst höheren Durchmesser ist deutlich kleiner. Den Volumenstrom entsprechen anpassen. Je weniger der eingestellte Volumenstrom von der Excel-Datei vorgeschriebenen abweicht, um so eher sind die Anforderungen der Isokinetik erfüllt. Wenn sich Temperatur oder der Druck, bzw. allgemein die Dichte des Gases ändert, muß die Geschwindigkeit im Filterkopfgerät neu berechnet werden. Dann muß auch die Absauggeschwindigkeit geändert werden. Ohne Fehler wird es niemals gehen. Welcher Fehler mehr von Bedeutung ist, muß der Fachmann vor Ort entscheiden. Bei Partikeln kleiner 5 µm können Abweichungen von der Isokinetik vernachlässigt werden.

### **10.2 Partikel im Eingangskonus:**

In der Regel werden bei Gesamt-Staubmessungen nach VDI 2066, Blatt 7 keine Ablagerungen im Eingangskonus vom Filterkopfgerät wahrgenommen. Die dort anhaftenden Staubpartikel sind von der Masse her nicht bedeutend. Sollte im Eingangskonus vermehrte Partikelabscheidungen an der Wand beobachtet werden, so müssen diese ebenfalls erfasst werden. Dazu wird der Konus mit Alkohol ausgespült und die Suspension aus Alkohol und Partikel über ein Standardfilter filtriert. Das Filtrieren kann über eine Nutsche mit Vakuum beschleunigt werden. Anschließend wird dieser Filter getrocknet und gemäß VDI 2066 behandelt.

### **10.3 Probenahmezeit:**

Die Probenahmedauer kann in begründeten Fällen deutlich von der nach TA-Luft geforderten halbstündigen Probenahme abweichen. Die benötigte Probenahmezeit wird durch mindestens zwei Faktoren begrenzt. Zum einem darf kein Filter überladen werden. Auf der anderen Seite, besteht die Gefahr, dass bei zu wenig Staubmasse auf dem Filter, die Stufe mangels Masse nicht ausgewertet werden kann.

Als Kriterium für die erste Probenahmedauer gilt dann der Druckabfall hinter dem Filterkopfgerät. In der Regel ist der Planfilter ausreichend belegt, wenn der Druckabfall über den Filter 200-300 mbar beträgt. Je nach Filtermaterial und Feuchte kann bei höheren Unterdrücken das Filtermaterial einreißen und die Messung unbrauchbar werden lassen. Auch hier gilt es, die Erfahrungen des Mitarbeiters vor Ort sind wichtiger, als sture Vorgaben.

## 10.4 Horizontale Messungen:

Ist der Filterkopfgerät während der Messung horizontal in der Strömung, liegt ein großes Drehmoment an dem Absaugrohr. Insbesondere bei hohen Temperaturen ist die Lockerung der Gewinde zu beachten. Ggf. erwärmte Gewinde nachträglich festdrehen.

## 10.5 OUT-STACK-Messungen

Das Filterkopfgerät soll grundsätzlich direkt hinter der Düse im Kamin eingesetzt werden. Ist dies nicht möglich, können Schwanenhalsdüsen eingesetzt werden oder das Filterkopfgerät wird hinter dem Krümmer, bzw. hinter dem Absaugrohr plziert. Gleich wie sie das Filterkopfgerät einsetzen, die Teile vor dem Filterkopfgerät sind Abscheidvorrichtungen unbekannter Art. Die Auswertung ist nur sehr begrenzt möglich. Diese Teile müssen ggf. gespült werden.

## 10.6 Messungen in Temperaturen > 200°C

Achtung, ab diesen Temperaturen dehnen sich die Gewinde aufgrund ihrer unterschiedlichen Masse ungleich stark aus. Wird das Gewinde angezogen oder gelöst, bevor Außen- und Innengewinde die gleiche Temperatur haben, kann sich das Gewinde festsetzen (Gewindefraß). Abhilfe: Lange Abkühlen lassen und/oder Gewinde vorher mit Kupferpaste einschmieren. Sollte sich das Gewinde festsetzen, niemals mit Gewalt das Gewinde weiterbelasten. Hier hilft nur noch Geduld. Gewinde ohne viel Kraft immer hin- und herdrehen, bis sich das Gewinde ganz langsam immer weiter löst. Beschädigtes Gewinde nicht erneut benutzen, sondern nachschneiden lassen. Unser Service auf unsere Teile: Kostenfreies nachschneiden, Sie müssen nur die Versandkosten tragen.

## 11. Spaß

Den wünschen wir Ihnen, obwohl wir wissen, dass isokinetische Messungen sehr aufwendig sind.

### Abbildung: Beispiel einer Probenahme mit Planfilterkopf nach VDI 2066, Blatt 7, Messaufbau nach VDI 2066

Dem Filterkopf mit Düse ist nachgeschaltet ein Krümmer und Absaugrohr. Im Trockenturm mit Kondensatabscheider und Silikagel wird dem Gas die Restfeuchte entzogen. Die nachfolgende Kohleschieber-Pumpe ist gasdicht und der Volumenstrom wird über einen Kreislauf-Bypass reguliert. Die Falschluff über die Pumpe ist deutlich unter 2 % und so kann der Volumenstrom am Ausgang der Pumpe mit einem Gaszähler erfasst werden. Zur Kontrolle des Volumenstromes ist ein Durchflussmesser vor der Gasuhr. Weder die Anzeige vom Durchflussmesser, noch das Volumen an der Gasuhr wird von dem Unterdruck, der durch die Belegung des Filters in der Probenahmeeinrichtung entsteht, beeinflusst. Für die anschließende Umrechnung des Volumens im Normzustand, müssen nur die Temperatur und der Luftdruck bekannt sein.

