

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREMessen von Partikeln
Staubmessung in strömenden Gasen
Messung der Emissionen von PM₁₀ und PM_{2,5} an
geführten Quellen nach dem ImpaktionsverfahrenParticulate matter measurement
Dust measurement in flowing gases
Measurement of PM₁₀ und PM_{2,5} emissions
at stationary sources by impaction method

VDI 2066

Blatt 10 / Part 10

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesan-
zeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.**Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The draft of this guideline has been subject to public scrutiny
after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).**The German version of this guideline shall be taken as authorita-
tive. No guarantee can be given with respect to the English trans-
lation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Begriffsbestimmungen	4
2.1 Strömungstechnische Begriffe	4
2.2 Gerätetechnische Begriffe	5
3 Symbole und Abkürzungen	5
4 Grundlage des Verfahrens	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Theorie der Impaktion	7
4.3 Trenndurchmesser	9
4.4 Kaskadenimpaktor	10
5 Funktionsweise und Bauelemente des zweistufigen Impaktors	10
5.1 Funktionsweise	10
5.2 Bauelemente	12
6 Messanordnung	12
6.1 Geräte und Betriebsmittel	12
6.2 Aufbau der Messeinrichtung	15
7 Vorbereitung, Durchführung der Messung und Nachbehandlung	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Vorbereitung	17
7.3 Durchführung der Messung	17
7.4 Nachbehandlung	19

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	3
1 Scope	4
2 Terms and definitions	4
2.1 Flow-related terms	4
2.2 Instrument-related terms	5
3 Symbols and abbreviations	5
4 Principle of the method	7
4.1 General	7
4.2 Theory of impaction	7
4.3 Cut-off diameter	9
4.4 Cascade impactor	10
5 Mode of operation and components of a two-stage impactor	10
5.1 Mode of operation	10
5.2 Components	12
6 Sampling system	12
6.1 Equipment and working materials	12
6.2 Measuring setup	15
7 Preparation, performance of the measurement and post-treatment	15
7.1 General	15
7.2 Preparations	17
7.3 Performing the measurement	17
7.4 Post-treatment	19

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Arbeitsgruppe Staubmessung in strömenden Gasen – Messen von PM₁₀ und PM_{2,5}
Ausschuss Emissionsmessverfahren

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4

This is a preview. Click here to purchase the full publication.

8 Berechnung der Ergebnisse	20
9 Verfahrenskenngrößen	20
9.1 Impaktorbelastung	20
9.2 Nachweisgrenze und Standardabweichung	21
9.3 Weitere Beiträge zur Messunsicherheit	22
10 Berichterstattung	24
Anhang A Berechnung des Probevolumenstroms des Impaktors	25
Anhang B Allgemeine Berechnungsformeln zur Impaktionstheorie	33
Anhang C Anwendungsbeispiel	35
Anhang D Entnahmesonde	37
Anhang E Datenträger	38
Schrifttum	40

8 Calculation of the results	20
9 Performance characteristics	20
9.1 Impactor load	20
9.2 Detection limit and standard deviation	21
9.3 Additional uncertainty contributions	22
10 Reporting	24
Annex A Calculation of the sample volumetric flow rate of the impactor	25
Annex B General equations of impaction theory	33
Annex C Examples	35
Annex D Entry nozzle	37
Annex E CD-ROM	38
Bibliography	40

Vorbemerkung

In der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL – erarbeiten Fachleute aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung in freiwilliger Selbstverantwortung VDI-Richtlinien und DIN-Normen zum Umweltschutz. Diese beschreiben den Stand der Technik bzw. Stand der Wissenschaft in der Bundesrepublik Deutschland und dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung und Anwendung von Rechts- und Verwaltungsvorschriften. Die Arbeitsergebnisse der KRdL fließen ferner als gemeinsamer deutscher Standpunkt in die europäische technische Regelsetzung bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) und in die internationale technische Regelsetzung bei ISO (Internationale Organisation für Normung) ein.

Folgende Themenschwerpunkte werden in vier Fachbereichen behandelt:

Fachbereich I „Umweltschutztechnik“

Produktionsintegrierter Umweltschutz; Verfahren und Einrichtungen zur Emissionsminderung; ganzheitliche Betrachtung von Emissionsminderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Luft, Wasser und Boden; Emissionswerte für Stäube und Gase; anlagenbezogene messtechnische Anleitungen; Umweltschutzkostenrechnung

Preliminary note

In the Commission on Air Pollution Prevention of VDI and DIN – Standards Committee (KRdL) experts from science, industry and administration, acting on their own responsibility, establish VDI Guidelines and DIN Standards in the field of environmental protection. These describe the state of the art in science and technology in the Federal Republic of Germany and serve as a decision-making aid in the preparatory stages of legislation and application of legal regulations and ordinances. KRdL's working results are also considered as the common German point of view in the establishment of technical rules on the European level by CEN (European Committee for Standardization) and on the international level by ISO (International Organization for Standardization).

The following topics are dealt with in four subdivisions:

Subdivision I

“Environmental Protection Techniques”

Integrated pollution prevention and control for installations; procedures and installations for emission control; overall consideration of measures for emission control with consideration given to the air, water and soil; emission limits for dusts and gases; plant-related measurement instructions; environmental industrial cost accounting

Fachbereich II „Umweltmeteorologie“

Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre; störfallbedingte Freisetzungen; mikro- und mesoskalige Windfeldmodelle; Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen; meteorologische Messungen; angewandte Klimatologie; Lufthygienekarten; human-biometeorologische Bewertung von Klima und Lufthygiene; Übertragung meteorologischer Daten

Fachbereich III „Umweltqualität“

Wirkung von Luftverunreinigungen auf Mensch, Tier, Pflanze, Boden, Werkstoffe und Atmosphäre; wirkungsbezogene Mess- und Erhebungsverfahren; Erfassung und Wirkung mikrobieller Luftverunreinigungen; Olfaktometrie; Umweltsimulation

Fachbereich IV „Umweltmesstechnik“

Emissions- und Immissionsmesstechnik für anorganische und organische Gase sowie für Partikel; optische Fernmessverfahren; Messen von Innenraumlftverunreinigungen; Messen von Bodenluftverunreinigungen; Verfahren zur Herstellung von Referenzmaterialien; Prüfpläne für Messgeräte; Validierungsverfahren; Messplanung; Auswertungsverfahren; Qualitätssicherung

Die Richtlinien und Normen werden zunächst als Entwurf veröffentlicht. Durch Ankündigung im Bundesanzeiger und in der Fachpresse erhalten alle interessierten Kreise die Möglichkeit, sich an einem öffentlichen Einspruchsverfahren zu beteiligen. Durch dieses Verfahren wird sichergestellt, dass unterschiedliche Meinungen vor Veröffentlichung der endgültigen Fassung berücksichtigt werden können.

Die Richtlinien und Normen sind in den sechs Bänden des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft zusammengefasst.

Einleitung

Die erste Tochterrichtlinie [G2] zur europäischen Luftqualitätsrahmenrichtlinie [G1] und die 22. BImSchV [G3] setzen Grenzwerte für die Konzentration von PM_{10} in der Außenluft fest. Im Rahmen der Ursachenermittlung für Immissionen von PM_{10} und $PM_{2,5}$ kann es notwendig werden, Feinstäube auch in den Abgasen industrieller Anlagen zu messen.

In der vorliegenden Richtlinie wird ein Messverfahren zur Ermittlung der Emissionskonzentration von PM_{10} und $PM_{2,5}$ beschrieben, das die in der Immissions-

Subdivision II “Environmental Meteorology”

Dispersion of pollutants in the atmosphere; emissions from accidental releases; micro- and meso-scale wind field models; interaction between the atmosphere and surfaces; meteorological measurements; applied climatology; air pollution maps; human-biometeorological evaluation of climate and air hygiene; transfer of meteorological data

Subdivision III “Environmental Quality”

Effects of air pollutants on man, farm animals, vegetation, soil, materials, and the atmosphere; methods for the measurement and evaluation of effects; determination of microbial air pollutants and their effects; olfactometry; environmental simulation

*Subdivision IV**“Environmental Measurement Techniques”*

Techniques for emission and ambient air measurements of inorganic and organic gases as well as particulate matter; optical open-path measurement methods; measurement of indoor air pollutants; measurement of soil air pollutants; procedures for establishing reference material; test procedures for measurement devices; validation procedures; measurement planning; evaluation methods; quality assurance

The guidelines and standards are first published as drafts. These are announced in the Bundesanzeiger (Federal Gazette) and in professional publications in order to give all interested parties the opportunity to participate in an official objection procedure. This procedure ensures that differing opinions can be considered before the final version is published.

The guidelines and standards are published in the six-volume VDI/DIN Reinhaltung der Luft (Air Pollution Prevention) manual.

Introduction

The first daughter directive [G2] of the European framework directive on air quality [G1] and the twenty-second ordinance on the implementation of the Federal Immission Control Act (22nd BImSchV) [G3] specify limit values for PM_{10} concentrations in ambient air. In order to identify the cause of PM_{10} and $PM_{2,5}$ in ambient air, it may be necessary to measure fine dust particles in the waste gas of industrial sources.

The present guideline describes a measurement method for the determination of concentrations of PM_{10} and $PM_{2,5}$ emissions, which realizes the same

messtechnik festgelegten Abscheidekurven für PM_{10} und $PM_{2,5}$ [T2] auch bei Emissionsmessungen abbildet. Das Verfahren beruht auf dem Prinzip der Impaktion. Während der Probenahme wird die Partikelfraktion in drei Gruppen mit aerodynamischen Durchmessern größer $10\text{ }\mu\text{m}$, zwischen $10\text{ }\mu\text{m}$ und $2,5\text{ }\mu\text{m}$ und kleiner $2,5\text{ }\mu\text{m}$ geteilt.

Das Messverfahren gestattet eine direkte Bestimmung der Emissionskonzentrationen von PM_{10} und $PM_{2,5}$. Das Verfahren ist konzipiert für Messungen an geführten stationären Emissionsquellen.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie VDI 2066 Blatt 10 legt ein Referenzmessverfahren zur Ermittlung der PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Massenkonzentrationen an geführten stationären Quellen fest. Das Messverfahren ist insbesondere zur Messung von Partikelmassenkonzentrationen unterhalb von 20 mg/m^3 geeignet. Es hat sich bei der Messung in Abgasen unterschiedlicher Anlagen bewährt, beispielsweise bei Anlagen zur Herstellung von Zement und Stahl sowie bei Verbrennungsprozessen.

Die Richtlinie ist nicht anwendbar bei mit Wasserdampf gesättigten Abgasen. Das hier beschriebene Verfahren darf nicht zur Ermittlung der Gesamtstaubmassenkonzentration herangezogen werden.

2 Begriffsbestimmungen

2.1 Strömungstechnische Begriffe

2.1.1 Aerodynamischer Durchmesser

Durchmesser einer Kugel von der Einheitspartikeldichte 1 g/cm^3 , die bei Einwirkung äußerer mechanischer Kräfte im Kräftegleichgewicht die gleiche Wanderungsgeschwindigkeit gegenüber dem Gas aufweist wie die untersuchten Partikel [T7].

2.1.2 Trenndurchmesser

Aerodynamischer Durchmesser, bei dem der Impaktor eine Abscheideeffizienz von 50 % besitzt.

2.1.3 $PM_{2,5}$

Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $2,5\text{ }\mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

2.1.4 PM_{10}

Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10\text{ }\mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist [G2].

separation curves which have been specified for PM_{10} and $PM_{2,5}$ in ambient air [T2]. The method is based on the principle of impaction. During sampling the particle fraction is divided into three groups with aerodynamic diameters greater than $10\text{ }\mu\text{m}$, between $10\text{ }\mu\text{m}$ and $2,5\text{ }\mu\text{m}$ and smaller than $2,5\text{ }\mu\text{m}$.

The measurement method allows the direct determination of concentrations of PM_{10} and $PM_{2,5}$ emissions. The method is designed for stack measurements at stationary emission sources.

1 Scope

Guideline VDI 2066 Part 10 specifies a standard reference method for the determination of PM_{10} and $PM_{2,5}$ mass concentrations at stationary emission sources. The measurement method is especially suitable for measurements of particle mass concentrations below 20 mg/m^3 . It is a proven method for the measurement in the waste gas of different installations like cement and steel production as well as incineration processes.

This guideline is not applicable in case of waste gas saturated with water-vapour. This guideline may not be used for the determination of the total mass concentration of dust.

2 Terms and definitions

2.1 Flow-related terms

2.1.1 Aerodynamic diameter

Diameter of a sphere of unit particle density 1 g/cm^3 , which exhibit under the influence of external mechanical forces at equilibrium conditions the same drift rate in the gas as the particles investigated [T7].

2.1.2 Cut-off diameter

Aerodynamic diameter where the separation efficiency of the impactor is 50 %.

2.1.3 $PM_{2,5}$

Particles which pass through a size-selective inlet with a 50 % efficiency cut-off at $2,5\text{ }\mu\text{m}$ aerodynamic diameter.

2.1.4 PM_{10}

Particles which pass through a size-selective inlet with a 50 % efficiency cut-off at $10\text{ }\mu\text{m}$ aerodynamic diameter [G2].

2.1.5 Reynoldszahl

Maß für die Turbulenz einer Strömung.

2.1.6 Stokeszahl

Dimensionslose gerätespezifische Größe.

2.1.7 Cunningham-Faktor

Gleitkorrekturfaktor zur Berücksichtigung der sich ändernden Gewichtung der Wechselwirkungen zwischen Partikeln und Gasphase.

Anmerkung: Das Stokes'sche Gesetz basiert auf der Annahme, dass die relative Geschwindigkeit eines Gases am Rand eines Partikels gleich Null ist. Diese Annahme kann nicht für Partikelgrößen in der Nähe der mittleren freien Weglänge gemacht werden. Solche Partikel können durch Zusammenstöße mit Partikeln und Gasatomen ihre Bewegung nicht kontinuierlich fortsetzen. In diesem Fall muss das Stokes'sche Gesetz um einen Gleitkorrekturfaktor, den Cunningham-Faktor, ergänzt werden. Er ist nur von der mittleren freien Weglänge und dem Partikeldurchmesser abhängig.

2.2 Gerätetechnische Begriffe**2.2.1 Filtersatz**

Rückhaltesystem bestehend aus zwei Sammelplatten und einem Endfilter.

2.2.2 Sammelplatte

Gelochtes Planfilter zur Partikelabscheidung durch Impaktion.

2.2.3 Endfilter

Planfilter zur Abscheidung der Partikelfraktion $PM_{2,5}$.

2.2.4 Sammelplattenhalter

Halterung zur Aufnahme der Sammelplatte.

2.2.5 Endfilterhalter

Lochplatte zur Aufnahme des Endfilters.

3 Symbole und Abkürzungen

A	Abscheidegrad
b	Luftdruck am Messort (Barometerstand)
b_n	Normdruck
$c_{1,i}$	i -te Konzentration der ersten Messeinrichtung
$c_{2,i}$	i -te Konzentration der zweiten Messeinrichtung
C	Cunningham-Faktor
d_{ae}	aerodynamischer Durchmesser
d_D	Düsendurchmesser

2.1.5 Reynolds number

Measure of turbulence of a flow.

2.1.6 Stokes number

Dimensionless instrument-specific quantity.

2.1.7 Cunningham factor

Correction factor taking into account the change in the interaction between particles and the gas phase.

Note: Stokes law is based on the assumption that the relative gas velocity at the particle edge equals zero. This assumption is not valid for particle sizes close to the mean free path length. Such particles can not move continuously due to collisions with particles and gas atoms. In this case the Stokes law has to be amended by a correction factor, i.e. the Cunningham factor. This factor only depends on the mean free path length and the particle diameter.

2.2 Instrument-related terms**2.2.1 Filter set**

Separator consisting of two collection plates and a backup filter.

2.2.2 Collecting plate

Punched plane filter used for particle separation by impaction.

2.2.3 Backup filter

Plane filter used for separation of the $PM_{2,5}$ particle fraction.

2.2.4 Collecting plate holder

Support of the collection plate.

2.2.5 Backup filter holder

Punched plate as support of the backup filter.

3 Symbols and abbreviations

A	separation efficiency
b	atmospheric pressure at the measurement site (barometric pressure)
b_n	normal pressure
$c_{1,i}$	is the i^{th} concentration value of the first measuring system
$c_{2,i}$	is the i^{th} concentration value of the second measuring system
C	Cunningham factor
d_{ae}	aerodynamic diameter
d_D	nozzle diameter