

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Messen von Partikeln in der Außenluft  
Elektrische Aerosolmonitore auf Basis  
der Diffusionsaufladung (DCAM)  
Measurement of particles in ambient air  
Electrical aerosol monitors based on  
diffusion charging (DCAM)

VDI 3871

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.*

*The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).*

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	3
Einleitung .....	3
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	4
<b>2 Begriffe</b> .....	4
<b>3 Grundlage des Verfahrens</b> .....	7
3.1 Physikalische Grundlagen .....	7
3.2 Physiologische Grundlagen .....	8
<b>4 Funktionsweise</b> .....	9
4.1 Allgemeines .....	9
4.2 Trägheitsabscheider .....	10
4.3 Diffusionsauflader .....	10
4.4 Ionenfalle .....	14
4.5 Ladungsmessung .....	15
4.6 Manipulator .....	17
<b>5 Strominterpretation</b> .....	18
5.1 Lungendeponierbare Oberflächenkonzentration .....	18
5.2 Längenkonzentration .....	19
5.3 Mittlere Partikelgröße .....	20
5.4 Anzahlkonzentration .....	20
<b>6 Kalibrierung</b> .....	20
6.1 Allgemeines .....	20
6.2 Kalibrierung mit monodispersen Partikeln .....	20
6.3 Kalibrierung mit polydispersen Partikeln .....	21
<b>7 Gerätekenngößen</b> .....	22
<b>8 Ausführungsbeispiele</b> .....	23
8.1 Allgemeines .....	23
8.2 Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM) .....	24
8.3 DiSCmini .....	26
8.4 NanoTracer .....	28
8.5 Partector .....	29
<b>9 Messtechnische Anforderungen</b> .....	31

Contents	Page
Preliminary note .....	3
Introduction .....	3
<b>1 Scope</b> .....	4
<b>2 Terms and definitions</b> .....	4
<b>3 Principle</b> .....	7
3.1 Physical principles .....	7
3.2 Physiological principles .....	8
<b>4 Function</b> .....	9
4.1 General .....	9
4.2 Inertial separator .....	10
4.3 Diffusion charger .....	10
4.4 Ion trap .....	14
4.5 Charge measurement .....	15
4.6 Manipulator .....	17
<b>5 Interpretation of the current</b> .....	18
5.1 Lung-deposited surface area concentration .....	18
5.2 Length concentration .....	19
5.3 Mean particle size .....	20
5.4 Number concentration .....	20
<b>6 Calibration</b> .....	20
6.1 General .....	20
6.2 Calibration with monodisperse particles .....	20
6.3 Calibration with polydisperse particles .....	21
<b>7 Device parameters</b> .....	22
<b>8 Examples of designs</b> .....	23
8.1 General remarks .....	23
8.2 Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM) .....	24
8.3 DiSCmini .....	26
8.4 NanoTracer .....	28
8.5 Partector .....	29
<b>9 Measurement requirements</b> .....	31

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss  
Fachbereich Umweltmesstechnik

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5: Analysen- und Messverfahren II

Inhalt	Seite
<b>10 Funktionsprüfung</b> .....	31
10.1 Allgemeines .....	31
10.2 Funktionsprüfung .....	32
10.3 Durchführung der Messung .....	32
<b>11 Messplanung</b> .....	33
<b>12 Datendokumentation</b> .....	33
<b>13 Störeinflüsse und Fehlerquellen</b> .....	33
13.1 Vorgeladene Partikel .....	33
13.2 Umgebungsbedingungen .....	34
13.3 Verschmutzung und Verschleiß .....	34
13.4 Probenahmeschläuche .....	35
<b>14 Wartung</b> .....	35
<b>15 Anwendungsbeispiel – Messung der Partikeloberflächenkonzentration in der Außenluft</b> .....	36
<b>Anhang</b> Ergebnisse von Vergleichsmessungen mit verschiedenen Gerätetypen .....	37
Schrifttum .....	41

Contents	Page
<b>10 Function testing</b> .....	31
10.1 General .....	31
10.2 Function testing .....	32
10.3 Performance of measurement .....	32
<b>11 Measurement planning</b> .....	33
<b>12 Data documentation</b> .....	33
<b>13 Interfering factors and error sources</b> .....	33
13.1 Pre-charged particles .....	33
13.2 Ambient conditions .....	34
13.3 Contamination and wear .....	34
13.4 Sampling tubes .....	35
<b>14 Maintenance</b> .....	35
<b>15 Typical application in the measurement of the particle surface area concentration in the ambient air</b> .....	36
<b>Annex</b> Results of comparative measurements with various instruments .....	37
Bibliography .....	41

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

## Einleitung

Die Bedeutung von Aerosolpartikeln mit Durchmessern  $D < 1 \mu\text{m}$  für die menschliche Gesundheit, aber auch für klimatische Effekte, wird mehr und mehr erkannt. Während üblicherweise die Massenkonzentration luftgetragener Partikel sowohl in der Umwelt als auch an Arbeitsplätzen quantifiziert wird, haben verschiedene Studien die Relevanz der Anzahl- sowie die der Oberflächenkonzentration aufgezeigt. So werden in [1] Korrelationen zwischen aufgetretenen Atemwegserkrankungen und der Anzahlkonzentration luftgetragener Partikel aufgezeigt. In [2] wird gezeigt, dass die durch inhalierte Partikel aufgetretenen gesundheitlichen Effekte besser mit der Partikeloberflächendosis als mit der Partikelmassendosis korrelieren. Zur Beschreibung der Luftqualität in Bezug auf die Staubbelastung erscheint es daher sinnvoll, die Parameter Massenkonzentrationen ( $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ , siehe DIN EN 12341), Partikelanzahlkonzentration sowie Anzahlgrößenverteilung (siehe VDI 3867 Blatt 1 bis Blatt 6) um Messungen weiterer Metriken, z.B. der Partikeloberflächenkonzentrationen als gesundheitsrelevante Metrik, zu ergänzen.

Die Partikelanzahlkonzentration ist unabhängig vom Partikeldurchmesser, also proportional zu  $D_p^0$ . Für kugelförmige Partikel ist die Partikellängenkonzentration proportional zum Partikeldurchmesser ( $D_p^1$ ), die Oberflächenkonzentration zum Quadrat des Durchmessers ( $D_p^2$ ) und die Volumen- oder Massenkonzentration zum Durchmesser hoch drei ( $D_p^3$ ).

Für das zur Umsetzung des in dieser Richtlinie beschriebenen Messverfahrens erforderliche Messgerät wird die Bezeichnung „Elektrischer Aerosolmonitor auf Basis der Diffusionsaufladung“ mit der Abkürzung DCAM (diffusion-charger-based aerosol monitor) eingeführt.

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

## Introduction

There is growing recognition of the importance of aerosol particles with diameters  $D < 1 \mu\text{m}$  for human health as well as for their effects on climate. While usually the mass concentration of airborne particles is quantified both in the environment and at the workplace, various studies have shown the relevance of the number and surface area concentration. [1], for example, shows correlations between the incidence of respiratory diseases and the number concentrations of airborne particles. [2] shows that the effects on health due to inhaled particles correlate better with the particle surface area dose than with the particle mass dose. To describe the air quality in terms of dust load, it therefore appears advisable to supplement the parameters of mass concentration (for  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2,5}$ , see DIN EN 12341), particle number concentration and number size distribution (see VDI 3867 Part 1 to Part 6) with measurements of further metrics, e.g. particle surface area concentration as a health-relevant metric.

The particle number concentration is independent of the particle diameter, i.e. proportional to  $D_p^0$ . For spherical particles, the particle length concentration is proportional to the particle diameter ( $D_p^1$ ), the surface concentration proportional to the square of the diameter ( $D_p^2$ ), and the volume and mass concentration proportional to the cube of the diameter ( $D_p^3$ ).

For the measuring device required for the implementation of the measuring method described in this standard, the designation “electrical aerosol monitor based on diffusion charging” abbreviated to DCAM (diffusion-charger-based aerosol monitor) is introduced.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie legt ein Verfahren zur elektrischen Diffusionsaufladung von Aerosolen mit anschließender Messung der Partikelladung fest. Mithilfe dieses Verfahrens lassen sich die lungendeponierbare Oberflächenkonzentration oder die Längenkonzentration und in manchen Fällen die Anzahlkonzentration und die mittlere Partikelgröße von Partikeln in der Außenluft bestimmen. Je nach Ausführungsform des elektrischen Diffusionsaufladers sind Partikel im Größenbereich zwischen etwa  $0,01\ \mu\text{m}$  (10 nm) und etwa  $1\ \mu\text{m}$  messbar. Die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung, wie sie z.B. mit Elektrischen Mobilitätsspektrometern (siehe VDI 3867 Blatt 3) erfolgen kann, ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

Darüber hinaus definiert die Richtlinie die aus der Messaufgabe resultierenden spezifischen Anforderungen an das Verfahren und seine Kenngrößen.

Bei der Bestimmung der lungendeponierbaren Oberflächenkonzentration wird der Anteil der geometrischen Partikeloberflächenkonzentration bestimmt, der entweder im alveolaren oder tracheobronchialen Bereich der menschlichen Lunge abgeschieden werden kann. Typische in städtischen Gebieten gemessene alveolar deponierbare Partikeloberflächenkonzentrationen liegen im Bereich von  $5\ \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  bis  $50\ \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ . An Arbeitsplätzen können diese Konzentrationen um mehrere Größenordnungen höher sein.

## 1 Scope

This standard specifies a process for the electrical diffusion charging of aerosols with subsequent measurement of particle charge. With the aid of this method, it is possible to determine the lung-deposited surface area concentration or length concentration and in some cases the number concentration and mean particle size of particles in ambient air. Depending on the design of the electrical diffusion charger, particles in the size range of approximately  $0,01\ \mu\text{m}$  (10 nm) to approximately  $1\ \mu\text{m}$  are measurable. Determination of the particle size distribution, as is possible, for example, with electrical mobility spectrometers (see VDI 3867 Part 3), is not possible with this method.

Furthermore, the standard defines the specific requirements relating to the method and its parameters resulting from the measurement task.

In the determination of the lung-deposited surface area concentration, the share of geometric particle surface area concentration is determined that can be deposited in either the alveolar or the tracheobronchial region of the human lung. Typical particle surface area concentrations with alveolar deposition measured in urban areas range from  $5\ \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  to  $50\ \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ . At workplaces these concentrations can be several orders of magnitude higher.