

DIN 33899-3

ICS 13.040.30

**Exposition am Arbeitsplatz –
Leitfaden für die Anwendung direkt anzeigender Geräte zur
Überwachung von Aerosolen –
Teil 3: Ermittlung der Konzentration luftgetragener Partikel mit
Photometern**

Workplace exposure –

Guide for the use of direct-reading instruments for aerosol monitoring –
Part 3: Evaluation of airborne particle concentrations using photometers

Exposition au poste de travail –

Guide d'utilisation des instruments à lecture directe pour la surveillance des aérosols –
Partie 3: Évaluation des concentrations de particules en suspension dans l'air à l'aide de
photometres

Gesamtumfang 29 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Arbeitsprinzip	6
3.1 Allgemeines	6
3.2 Lichtstreuung	7
3.3 Gerätesignal — Effekte, die durch Eigenschaften der luftgetragenen Partikel verursacht werden	8
3.3.1 Allgemeines	8
3.3.2 Partikeldichte	9
3.3.3 Partikelgröße	9
3.3.4 Partikelbrechungsindex	9
3.3.5 Partikelform	10
4 Gerätetypen	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Passive Aerosolmonitore	10
4.3 Aktive Aerosolmonitore	11
4.4 Größenselektive Aerosolmonitore	11
5 Kalibrierung	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Werkseitige Kalibrierung	12
5.3 Optisches Referenzelement	13
5.4 Gravimetrische Referenz	13
5.4.1 Allgemeines	13
5.4.2 Integrierter Back-up-Filter	13
5.4.3 Externer gravimetrischer Sammler	13
6 Auswahl des Aerosolmonitors	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Aktive oder passive Aerosolmonitore	14
6.2.1 Passive Photometer	14
6.2.2 Aktive Photometer	14
6.3 Massenkonzentrationsbereich	15
6.4 Gefährliche Arbeitsumgebungen	15
6.5 Größenselektion	15
7 Durchführung der Aerosolmessungen mit Photometern	15
7.1 Bedienung des Geräts	15
7.1.1 Allgemeines	15
7.1.2 Allgemeine Einrichtung des Geräts	15
7.1.3 Nulleinstellung	16
7.1.4 Kalibrierung	16
7.1.5 Datenauswertung	16
7.2 Probenahmestrategien	16
7.2.1 Personenbezogene Überwachung	16
7.2.2 Stationäre Überwachung	17
7.2.3 Arbeitsplatzbegehungen	17
8 Anwendungsgrenzen und Fehlerquellen	17
9 Reinigung und Wartung	18

Anhang A (informativ) Einfluss von physikalischen Parametern luftgetragener Partikel und von deren Polydispersität auf die Photometermessung.....	19
A.1 Allgemeines	19
A.2 „Bias maps“	19
Anhang B (informativ) Gegenwärtig verfügbare Photometer	23
Literaturhinweise	28

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitskreis „Staub“ (NA 095-03-01-01 AK) des Arbeitsausschusses „Messstrategien und Anforderungen an Messverfahren“ des Normenausschusses Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) im DIN erarbeitet. Der Norm liegt in modifizierter Fassung die deutsche Übersetzung des CEN Technischen Berichts CEN/TR 16013-3:2012 zu Grunde, der unter Beteiligung deutscher Experten vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) erarbeitet wurde.

Gegenüber CEN/TR 16013-3:2012 wurden der Abschnitt 2 „Normative Verweisungen“ und in Bild 1 der Halbwinkel der Lichterfassung β ergänzt. Außerdem wurden die Unterabschnitte 5.4.2 und 5.4.3 sowie die zweite Spalte von Tabelle B.1 inhaltlich überarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 33899 *Exposition am Arbeitsplatz — Leitfaden für die Anwendung direkt anzeigender Geräte zur Überwachung von Aerosolen* besteht aus:

- *Teil 1: Auswahl des Monitors für besondere Anwendungsfälle*
- *Teil 2: Ermittlung der Konzentration luftgetragener Partikel mit optischen Partikelzählern*
- *Teil 3: Ermittlung der Konzentration luftgetragener Partikel mit Photometern*

Einleitung

Sämtliche photometerbasierten, direkt anzeigenden Aerosolmonitore wenden für die Bestimmung der Konzentration luftgetragener Partikel das Prinzip der Lichtstreuung an. Dabei wird das Licht einer Lichtquelle (üblicherweise erzeugt durch einen Laser oder eine Diode) kollimiert und beleuchtet die in das Messvolumen eintretenden luftgetragenen Partikel. Die Messgeräteeoptik ist üblicherweise so ausgeführt, dass die Intensität des unter einem bestimmten Winkel gestreuten Lichts hauptsächlich zu der Konzentration der luftgetragenen Partikel der alveolengängigen Fraktion proportional ist. Andere physikalische Eigenschaften des Aerosols, wie z. B. Partikelgröße, Brechungsindex und Partikelform, beeinträchtigen das Signal des Photometers unterschiedlich stark (siehe [7]), obgleich dies durch eine geeignete konstruktive Ausführung des Photometers minimiert werden kann. Daher sind photometerbasierte, direkt anzeigende Aerosolmonitore nicht ideal für die Messung der Exposition der Arbeitskräfte oder um zu überprüfen, ob die Arbeitsplatzgrenzwerte für Staub überschritten werden. Deren Hauptvorteil besteht darin, dass sie eine nahezu sofortige Messung der Konzentration luftgetragener Partikel ergeben, wobei die mit gravimetrischen Normverfahren verbundene Dauer und der Aufwand erheblich verringert werden. Eine bessere Leistung bieten sie ebenfalls bei Messungen an Aerosolen mit hohem Dampfdruck, die bei einer genormten gravimetrischen Analyse üblicherweise verdampfen würden. Einige Messgeräte schließen am Einlass einen Vorabscheider (Zyklon oder Impaktor) ein, um die alveolengängige Staubfraktion besser zu erfassen.

Somit sind Photometer bestens dafür geeignet, zeitliche und räumliche Änderungen der Konzentration der luftgetragenen Partikel zu bestimmen und um eine plötzliche Konzentrationsänderung zu erkennen. Typische Anwendungen sind:

- Arbeitsplatzbegehungen;
- Hintergrundmessung zur Bestimmung der Konzentrationsänderungen und der mittleren Konzentration während einer Arbeitsschicht;
- Beurteilung der Wirksamkeit von Staubminderungsmaßnahmen;
- Messung der Innenraumluftqualität;
- Einsatz als Teil von Videovisualisierungssystemen für die Expositionsmessung.

Für die personenbezogene Expositionsmessung sollten Photometer als ergänzend zu den konventionellen filterbasierten gravimetrischen Verfahren angesehen werden (siehe [2]), obwohl diese bei einer sorgfältigen Kalibrierung ebenfalls eine genaue Messung der Exposition durch den alveolengängigen Staub, d. h. den Staub, der durch Mund und Nase in die unteren Bereiche des Atmungssystems gelangt (siehe DIN EN 481), ergeben können.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm beschreibt die Anwendung von Photometern zur Bestimmung luftgetragener Partikel, die der alveolengängigen Fraktion angehören, und gibt Einzelheiten zu deren Anwendungsgrenzen und Einsatzmöglichkeiten auf dem Gebiet der Arbeitshygiene.

ANMERKUNG Photometer können ebenfalls zur Feststellung anderer Größenfraktionen luftgetragener Partikel nach der aerodynamischen Vorabscheidung verwendet werden, diese stehen jedoch nicht im Fokus dieser Norm.

Das Verfahren ergänzt konventionelle Langzeitprobenahmen von Aerosolpartikeln und kann zur

- verzögerungsfreien (direkt anzeigenden) Messung (Momentanwertmessung),
- zeitbezogenen Überwachung,
- Untersuchung der raumbezogenen Aerosolentwicklung (Kartierung), und
- Expositionsvisualisierung

herangezogen werden

Das Verfahren ermöglicht z. B.

- die Feststellung und relative quantitative Bestimmung von Konzentrationsspitzen aufgrund spezieller Arbeitsabläufe (Eintüten, Abschleifen usw.),
- die Bestimmung der am stärksten exponierten Arbeitskräfte im Hinblick auf ausführlichere Risikostudien und anzuwendende vorbeugende Maßnahmen, und
- die Feststellung der Staubemissionsquellen und deren relativer Stärke.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 481, *Arbeitsplatzatmosphäre — Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel*

DIN EN 13205 (alle Teile), *Exposition am Arbeitsplatz — Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Sammlern für die Messung der Konzentration luftgetragener Partikel*

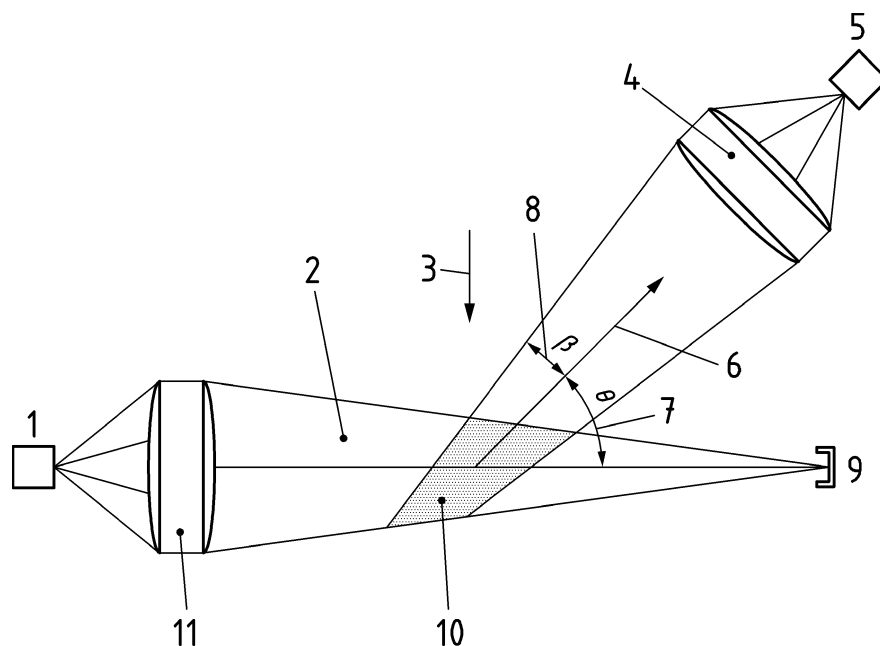
3 Arbeitsprinzip

3.1 Allgemeines

Zur Erzeugung einer Lichtquelle von hoher Intensität, deren Strahlung üblicherweise im sichtbaren Bereich des Nahinfrarotspektrums liegt, wird ein Laser oder eine Leuchtdiode verwendet. Das Licht wird kollimiert und beleuchtet die in das Messvolumen des Messgeräts eintretenden luftgetragenen Partikel. Das optische Messvolumen wird, wie in Bild 1 dargestellt, durch eine Überschneidung der einfallenden und erfassten Lichtstrahlen erzeugt. Die Intensität des unter einem bestimmten Winkel gestreuten Lichts ist proportional zu der Konzentration der luftgetragenen Partikel und wird mit empfindlichen Photoelektronenvervielfachern oder Photodioden erfasst.

3.2 Lichtstreuung

Die Wechselwirkung eines Lichtstrahls mit einem luftgetragenen Partikel in der Suspension kann mehrere Effekte auslösen: Absorption eines Teils des Lichts, Reflexion, Brechung oder Beugung des Strahls. Diese Effekte zusammen resultieren in einer Streuung des einfallenden Lichts in alle Richtungen. Die Beleuchtungs- und Sammeloptik ist innerhalb des Photometers so angeordnet, dass das in einem festgelegten Winkelbereich gestreute Licht den Detektor erreicht (siehe Bild 1). In Abhängigkeit von der Ausführung können diese Messgeräte das Streulicht im Bereich von $\theta = 90^\circ$, 45° oder weniger als 30° messen. Die Wahl des Beobachtungswinkels spielt bei der Detektion eine bedeutende Rolle. Die Vorwärtsstreuung ist gegenüber der Änderung des Brechungsindex der luftgetragenen Partikel relativ unempfindlich, und somit sind Photometer für die Vorwärtsstreuung mit Streuwinkeln $< 30^\circ$ weniger empfindlich gegenüber dem Brechungsindex des Aerosols als Messgeräte mit einem Streuwinkel von 90° . Bei kleinen Streuwinkeln überbewerten jedoch die Photometer Partikel, die kleiner als $1,5 \mu\text{m}$ sind.



Legende

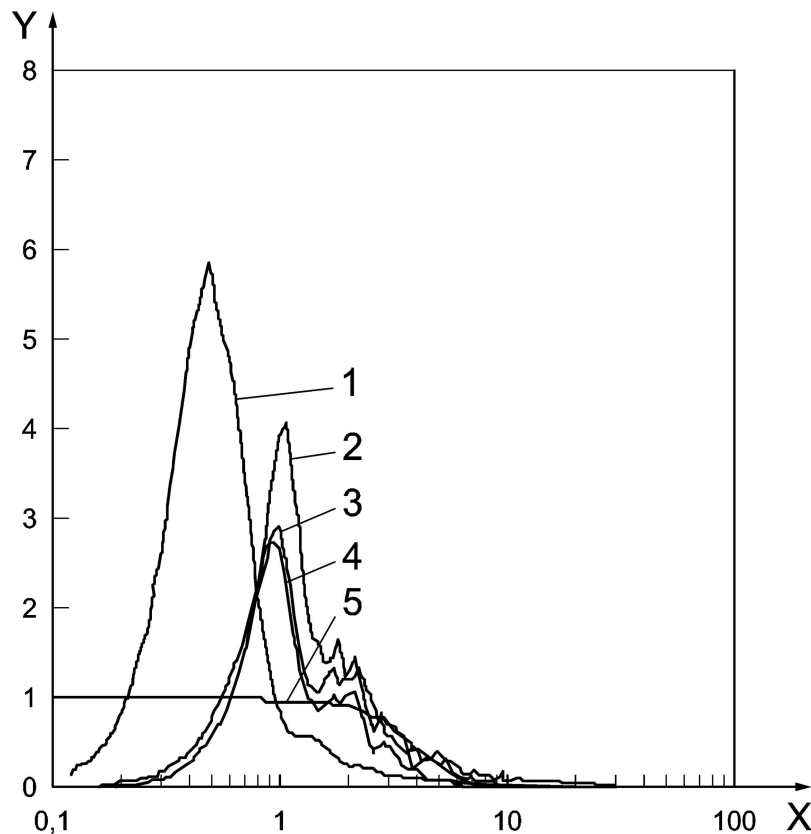
- 1 Lichtquelle
- 2 einfallendes Licht
- 3 Aerosolfluss
- 4 Sammeloptik
- 5 Lichtdetektor
- 6 Streulicht
- 7 Erfassungswinkel des Streulichts
- 8 Halbwinkel der Lichterfassung
- 9 Lichtfalle
- 10 Messvolumen
- 11 Sammeloptik

Bild 1 — Photometer zur Messung der Lichtstreuung von Aerosolen

3.3 Gerätesignal — Effekte, die durch Eigenschaften der luftgetragenen Partikel verursacht werden

3.3.1 Allgemeines

Für kugelförmige Partikel mit einem bekannten Brechungsindex kann das Gerätesignal durch die Anwendung der Mie-Theorie der Lichtstreuung (siehe [13]) berechnet werden. Das für ein übliches Lichtstreuphotometer berechnete Signal ist in Bild 2 dargestellt.



Legende

- X Partikeldurchmesser, in Mikrometer (μm)
- Y Empfindlichkeit bei konstanter Massenkonzentration
- 1 Kohlenstaub
- 2 amorphes Aluminiumoxid
- 3 Quarz
- 4 Arizona Road Dust (Arizona-Straßenstaub)
- 5 Probenahmekonvention über die alveolengängige Fraktion

Bild 2 — Für vier Staubmaterialien berechnete größenabhängige Massenempfindlichkeit eines Photometers zusammen mit der alveolengängigen Fraktion (siehe DIN EN 481)

Die physikalischen Parameter einiger gemessener Aerosole sind in Tabelle A.1 aufgelistet. Die Photometer-Parameter sind wie folgt:

- Wellenlänge des einfallenden Lichts $\lambda = 950 \text{ nm}$;
- Erfassungswinkel des Streulichts $\theta = 70^\circ$;
- Halbwinkel der Lichterfassung $\beta = 10^\circ$.

Eine geeignete konstruktive Ausführung des Photometers (Beobachtungswinkel, Wellenlänge des einfallenden Lichts usw., siehe [1]) ermöglicht die Messung einer bestimmten Partikelgrößenfraktion des Aerosols. Bild 2 zeigt einen photometerbasierten Staubmonitor, der hauptsächlich für Partikelgrößen innerhalb der alveolengängigen Fraktion des Aerosols empfindlich ist. In diesem Fall steigt die Empfindlichkeit des Photometers bis zu einem Partikeldurchmesser von etwa $1 \mu\text{m}$ an. Darauf folgt eine Abnahme der Empfindlichkeit für größere Partikel mit einem starken Abfall der Empfindlichkeit für Partikel, die größer als $10 \mu\text{m}$ sind.

Tatsächlich ist die Menge an Licht, das durch ein vom Detektor erfasstes luftgetragenes Partikel gestreut wird, eine komplexe Funktion der Partikelgröße und -form, des Brechungsindex sowie der Wellenlänge der Lichtquelle und ändert sich daher bei unterschiedlichen Staubarten. Zudem hängt diese von der Geometrie des optischen Systems zur Photodetektion ab.

3.3.2 Partikeldichte

Die Dichte eines luftgetragenen Partikels beeinträchtigt nicht dessen Lichtstreuungseigenschaften und damit ändert sich auch nicht die Empfindlichkeit eines Photometers mit der Dichte des gemessenen Aerosols. Die Massenkonzentration eines Aerosols hängt jedoch von der Partikeldichte ab, weswegen die mit dem Photometer durchgeführten Konzentrationsmessungen unter der Annahme, dass die Dichte des tatsächlich gemessenen Staubs bekannt ist, bezüglich der Differenz aus der Dichte des tatsächlich gemessenen Staubs (ρ_{act}) und des Kalibrierstaubs (ρ_{cal}) (siehe 5.2) korrigiert werden sollten. Um die Korrektur vorzunehmen, wird die Photometer-Messung an den Verhältniswert der beiden Dichten $\rho_{\text{act}}/\rho_{\text{cal}}$ angepasst (siehe [15]). Wird ein einfacher Dichtekorrekturfaktor verwendet, sollte bedacht werden, dass die Dichteänderungen (verursacht durch eine Änderung der Aerosolart) höchstwahrscheinlich von Änderungen der Partikelgrößenverteilung und des Brechungsindex des gemessenen Aerosols begleitet werden, wodurch das Signal des Photometers beeinflusst wird (siehe 3.3.3 und 3.3.4).

3.3.3 Partikelgröße

Die Empfindlichkeit des Photometers hängt stark von der Partikelgröße ab (siehe [18] und [23]). Bei luftgetragenen Partikeln, die kleiner als die Wellenlänge des einfallenden Lichts sind, ist die Intensität des Streulichts proportional zu d_p^6 , wobei d_p der Partikeldurchmesser ist. Bei größeren Partikeln, die üblicherweise größer als die Wellenlänge des einfallenden Lichts sind, ist die Intensität des Streulichts etwa proportional zu d_p^2 . In dem dazwischen liegenden Bereich, in dem die Partikelgröße in etwa der Wellenlänge des einfallenden Lichts gleicht, kann die Intensitätsfunktion in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften der luftgetragenen Partikel Schwankungen unterliegen (siehe Bild 2).

3.3.4 Partikelbrechungsindex

Änderungen des Brechungsindex verursachen eine nichtlineare Änderung des Signals des Photometers. Daher kann ein Korrekturfaktor, der auf einem einfachen Verhältnis des Brechungsindex des gemessenen Aerosols zum Brechungsindex des Aerosols basiert, mit dem das Photometer ursprünglich kalibriert wurde, nicht angewendet werden. Es gibt jedoch begründete Hinweise darauf, dass die Mehrheit der luftgetragenen Partikel einen Brechungsindex aufweist, der sehr nah an 1,5 liegt (siehe [7] und [12]). Darüber hinaus messen die meisten modernen Photometer das Vorwärtstreulicht (Winkel der Lichterfassung von 45° bis 95°), das weniger empfindlich gegenüber den Änderungen des Brechungsindex ist (siehe [16]). Deshalb kann jede geringe Differenz zwischen dem Brechungsindex des gemessenen Aerosols im Verhältnis zu dem des Kalibrier-aerosols entweder vernachlässigt oder über diesen engen Bereich als linear betrachtet und mittels eines linearen Korrekturfaktors korrigiert werden. Die Auswirkung der luftgetragenen Partikel mit einem Brechungsindex, der von 1,5 wesentlich abweicht, auf das Signal des Photometers ist weitgehend unbekannt; ein Photometer kann aber dennoch für Partikel mit einem konstanten Brechungsindex rekali-briert werden.