

DIN 33899-2



ICS 13.040.30

**Exposition am Arbeitsplatz –
Leitfaden für die Anwendung direkt anzeigender Geräte zur
Überwachung von Aerosolen –
Teil 2: Ermittlung der Konzentration luftgetragener Partikel mit
optischen Partikelzählern**

Workplace exposure –

Guide for the use of direct-reading instruments for aerosol monitoring –

Part 2: Evaluation of airborne particle concentrations using Optical Particle Counters

Exposition au poste de travail –

Guide d'utilisation des instruments à lecture directe pour la surveillance des aérosols –

Partie 2: Évaluation des concentrations de particules en suspension dans l'air à l'aide de compteurs optiques de particules

Gesamtumfang 23 Seiten

Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Verfahrensgrundsätze	5
4.1 Allgemeines	5
4.2 Lichtstreuung	6
4.3 Arbeitsweise	7
5 OPZ-Leistungsmerkmale	7
6 Anzahl- und Massenkonzentration	7
7 Massenkonzentration thorakaler und alveolengängiger Aerosolfractionen	8
8 Einsatz des OPZ.....	10
8.1 Allgemeines	10
8.2 Einstellung des Luftvolumenstroms.....	10
8.3 Kalibrierung zur Partikelzählung.....	10
8.4 Kalibrierung des Partikeldurchmessersignals	10
8.5 Anzeige der Massenkonzentration.....	10
9 Grundlegende und praktische Beschränkungen	11
9.1 Optischer Brechungsindex und Partikeldichte	11
9.2 Messgeräte für Vorwärtsstreuung	11
9.3 Beschränkung der Partikelgröße	11
9.4 Koinzidenzfehler und Konzentrationsbeschränkungen	12
9.5 Aerosole aus unterschiedlichen Quellen	12
10 Eigenschaften der Geräteausstattung.....	12
10.1 Ansaugsystem	12
10.2 Eingebautes Sammelfilter	12
10.3 Probenahmekopf.....	12
10.4 Optische Zelle	13
10.5 Elektronik.....	13
10.6 Gehäuse für Lasergeräte	13
11 Aerosolmessung mittels OPZ.....	13
11.1 Betriebsablauf	13
11.2 Kartographie des Arbeitsplatzes.....	14
11.3 Überwachung der Arbeitsschicht	14
11.4 Dokumentation der Probenahme	14
11.5 Reinigung und Wartung	14
Anhang A (informativ) Bewertung eines OPZ als Messgerät für thorakale und alveolengängige Massenkonzentrationen.....	15
Anhang B (informativ) Beispiel für die Bestimmung des Korrekturkoeffizienten eines OPZ	20
Literaturhinweise	23

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 16013-2:2010 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.

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.

Gegenüber CEN/TR 16013-2:2010 wurde in der Einleitung ein Hinweis auf so genannte Aerosolspektrometer ergänzt. Darüber hinaus wurden Abschnitt 2 und Abschnitt 3 neu aufgenommen sowie insbesondere 8.2, 9.3 und Abschnitt 10 überarbeitet.

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

Optische Partikelzähler (OPZ) zählen luftgetragene Partikel und sind daher zum Messen von Konzentrationen geeignet, die als Partikelanzahl je Einheit Luftvolumen angegeben werden. Beim zählbasierten Messen der Massenkonzentration und der Partikelgrößenbeurteilung handelt es sich um ein indirektes Verfahren: eine Reihe von Annahmen und Annäherungen werden vorgenommen, um die gesuchte Information zu erhalten. Dennoch können optische Partikelzähler genutzt werden, um die Effizienz vorbeugender Maßnahmen zu bewerten und um die räumliche Verteilung und/oder die zeitliche Entwicklung eines Aerosols zu überwachen. Im Rahmen der Arbeitsplatzhygiene gibt es keine Norm, die eine Bewertung der Exposition von Arbeitskräften mittels optischer Partikelzähler vorschlägt. Diese Instrumente sollten stattdessen dahingehend berücksichtigt werden, dass sie eine zum konventionellen filterbasierten gravimetrischen Verfahren ergänzende Vorgehensweise gestatten. Die anhand von OPZ-Daten abgeschätzten Massenkonzentrationen sind nur als Anhaltspunkte anzusehen und können nicht für einen direkten Vergleich mit einem gesetzlich vorgeschriebenen Arbeitsplatzgrenzwert herangezogen werden.

Ein OPZ-Verfahren gestattet die Bewertung der Aerosolbedingungen am Arbeitsplatz einschließlich

- annähernd verzögerungsfreier Bewertung der Partikel(anzahl)konzentration und der Größenverteilung,
- Abschätzung der Konzentrationsschwankungen und der mittleren Konzentration von Aerosolpartikeln während der Dauer einer Arbeitsschicht,
- Probenahme zur Bildung einer Partikelprobe zur weiteren Analyse (bei Ausstattung mit einem Endfilter).

Nach dem gleichen Prinzip funktionieren so genannte optische Aerosolspektrometer (siehe ISO 21501-1), deren Anwendung in dieser Norm jedoch nicht konkret beschrieben wird. Optische Partikelzähler für Reinraumanwendungen (siehe ISO 21501-4) sind für Messungen am Arbeitsplatz nicht geeignet.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die Grundsätze fest, die der Bewertung einer oder mehrerer gesundheitsrelevanter Aerosolfractionen bei Verwendung eines optischen Partikelzählers zugrunde liegen und beschreibt umfassend die Beschränkungen und Möglichkeiten für das Gebiet der Arbeitshygiene.

Das OPZ-Verfahren ergänzt konventionelle Langzeit-Probenahmen von Aerosolpartikeln und bietet Möglichkeiten hinsichtlich einer

- verzögerungsfreien (direkt anzeigenden) Messung (Momentanwertmessung),
- zeitbezogenen Überwachung,
- Untersuchung der raumbezogenen Aerosolentwicklung (Kartierung),
- Beurteilung der Partikelgrößenverteilung.

Das Verfahren ermöglicht z. B. die

- Feststellung und relative quantitative Bestimmung von Konzentrationsspitzen aufgrund spezieller Arbeitsabläufe (Eintüten, Abschleifen usw.),
- Bestimmung der am stärksten exponierten Arbeitskräfte im Hinblick auf ausführlichere Risikostudien und anzuwendende vorbeugende Maßnahmen,
- 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 1540, *Exposition am Arbeitsplatz — Terminologie*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN 1540.

4 Verfahrensgrundsätze

4.1 Allgemeines

Grundsätzlich zählen optische Partikelzähler (OPZ) luftgetragene Partikel und sind daher zum Messen von Konzentrationen geeignet, die als Partikelanzahl je Einheit Luftvolumen angegeben werden. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens wird durch die Partikelgröße und die Bereiche der Konzentrationsmessung der OPZ-Geräte begrenzt, die üblicherweise $10^{-1} \mu\text{m}$ bis $10^1 \mu\text{m}$ beträgt bzw. 10^0 Partikel je cm^3 bis einige 10^3 Partikel je cm^3 abdecken.

In Abhängigkeit von den besonderen Umständen gestattet das OPZ-Verfahren die Sammlung einer Aerosolfraction auf Filtern, im günstigsten Falle nahe einer gesundheitsrelevanten Fraktion (siehe DIN EN 481), unter der Voraussetzung, dass der OPZ über die entsprechende Wirksamkeit (Leistungsfähigkeit) bei der Probenahme innerhalb seines ganzen optischen Partikelgrößenbereiches verfügt.

Wenn das nicht der Fall ist, ist zumindest eine ausreichende Ansaugeffizienz erforderlich, um das Größenspektrum der Partikel abzudecken, die mittels des optischen Systems des OPZ detektiert und gemessen werden können.

Die Umrechnung zählbasierter Partikelanzahlkonzentrationen in Massenkonzentrationen auf der Grundlage einer angenommenen Partikelgröße ist indirekt und daher ist die Genauigkeit der Umrechnung durch verschiedene vereinfachende Annahmen begrenzt:

- identische optische Parameter sowohl für das bei der Kalibrierung benutzte Aerosol als auch das am Arbeitsplatz gemessene Aerosol;
- alle gezählten Partikel des Arbeitsplatz-Aerosols sind kugelförmig mit einem geometrischen Durchmesser, der gleich dem bestimmten optischen Durchmesser ist, und von identischer Dichte;
- Ansaug- und Übertragungsleistung des OPZ sind bekannt oder über Ingenieurmodelle geschätzt.

Aus diesem Grund ist eine Bestätigung der Massenkonzentrationen, die aufgrund der OPZ-Partikelgrößenverteilungen veranschlagt werden, mittels eines konventionellen Probenahmeverfahrens notwendig (siehe [3]). Die aufgrund der OPZ-Daten veranschlagten Massenkonzentrationen sind nur als Anhaltspunkte anzusehen und können nicht für einen direkten Vergleich mit einem gesetzlich vorgeschriebenen Arbeitsplatzgrenzwert herangezogen werden.

4.2 Lichtstreuung

Durch die Auswirkungen von Reflexion, Brechung, Absorption und Beugung ist ein Aerosolpartikel in der Lage, Lichtenergie zu streuen. Der Betrag der gestreuten Energie kann unter Anwendung der Mie-Theorie berechnet werden (siehe [8]), die durch die folgende, vereinfachte Gleichung (1) für einen nicht polarisierten, monochromatischen, einfallenden Lichtstrahl und kugelförmige Partikel zusammengefasst werden kann:

$$I = I_0 \frac{1}{8\pi^2} \frac{\lambda^2}{r^2} [i_1(\alpha, n, \theta) + i_2(\alpha, n, \theta)] \quad (1)$$

Dabei ist

- I die Intensität des Lichtes, das in einem Winkel θ gestreut wird, je Querschnittsflächeneinheit, in Watt je Quadratmeter;
- I_0 die Intensität der einfallenden Strahlung je Querschnittsflächeneinheit, in Watt je Quadratmeter;
- α der Partikelgrößenparameter, wobei $\alpha = \pi \times D/\lambda$ und D der Durchmesser des kugelförmigen Partikels ist, in Mikrometer;
- n der komplexe optische Brechungsindex der Partikel;
- λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes, in Mikrometer;
- r die Entfernung vom Zentrum des streuenden Partikels bis zu dem Punkt, an dem die Intensität, I , gemessen wird, in Mikrometer;
- θ der Streuwinkel;
- i_1, i_2 (die) Mie-Intensitätsfunktionen.

Der Partikeldurchmesser D kann aus Gleichung (1) durch die Messung des einfallenden Lichtstrahls gewonnen werden, wenn die optischen Parameter der Partikel und die Eigenschaften der Streulichtstrahlung bekannt sind.

4.3 Arbeitsweise

OPZ sind geschlossene Geräte mit optischen Zellen, die ein Ansaugsystem für Aerosole besitzen. Sie sind durch das sehr geringe optische Volumen, das sie messen (in der Größenordnung von 1 mm³) gekennzeichnet und durch eine Fließgeschwindigkeit, die häufig in der Größenordnung von 1 l/min liegt (siehe [9]). Das gestattet es, Partikel einzeln in den Messbereich zu saugen und das durch jedes Partikel gestreute Licht aufzuzeichnen. Einzelne Impulse werden gezählt und deren Größe gemessen.

Das zu untersuchende Aerosol wird durch die Probenahmesonde des Gerätes hindurch von einer Pumpe mit konstantem Volumenstrom angesaugt. Die Partikel gelangen nacheinander in die optische Zelle, in der jedes Partikel durch einen gebündelten Lichtstrahl mit festgelegten Merkmalen angeleuchtet wird und dieses Licht entsprechend seiner Eigenschaften (komplexer optischer Brechungsindex, Größe, Form) streut.

Die Partikel bewegen sich senkrecht zu der Ebene, die durch den gebündelten Strahl einfallenden Lichts und den Streulicht-Empfangsstrahl gebildet wird. Über die optischen Teile wird filtrierte Luft geleitet, um jegliche Partikelablage innerhalb der optischen Zelle zu verhindern.

Das Streulicht wird auf einen Photodetektor gerichtet und als Impuls aufgezeichnet. Aus der Impulsgröße wird unter Annahme kugelförmiger Partikel die Partikelgröße geschlussfolgert. Eine Anzahl von Signalen kann üblicherweise nach einer Kalibrierung, bei der das zu untersuchende Aerosol verwendet wurde, während einer vordefinierten Integrationszeit in eine Massenkonzentration umgerechnet werden.

5 OPZ-Leistungsmerkmale

OPZ-Leistungsmerkmale variieren entsprechend der Aerosolprobenahme-Wirksamkeit des Probenahme-kopfes, der Art des verwendeten Lichtes (monochromatisch oder polychromatisch), seiner Intensität (Glühlampe oder Laser), der optischen Anordnung der Zelle (Wahl der Streuachse, Größe des Empfangs-raumwinkels), der Empfindlichkeit des lichtempfindlichen Bauteils (Photodiode, Photomultiplier) und des elektronischen Auflösungsvermögens (Impulsfrequenz und Impulsgrößenmessung).

Die begrenzte Durchflussmenge, die sich oft in der Größenordnung von 1 l/min bewegt, beschränkt die Möglichkeiten, aerodynamische Bedingungen zu erreichen, die günstig für eine hohes Leistungsvermögen der Ansaugöffnung sind, und stellt die vollständige Überführung der Partikel an die optische Zelle sicher. Die Eigenschaften des OPZ-Durchflusssystems (Ansaugöffnung und Röhrengometrie, Luftstromgeschwindigkeiten und Durchflussmengen) sind so beschaffen, dass Partikelverluste hauptsächlich trägheitsbedingt sind und daher häufiger bei großen Partikeln auftreten (insbesondere bei denen, die größer als 10 µm sind).

Die größtmögliche Konzentration, die durch einen OPZ gemessen werden kann, ist auf einige Tausend Partikel je Kubikmeter begrenzt, um Koinzidenzfehler durch das gleichzeitige Hindurchtreten mehrerer Partikel durch das optisch abzutastende Volumen zu vermeiden.

6 Anzahl- und Massenkonzentration

Eine OPZ-Zählung für eine Zeitspanne t in Minuten ergibt die Anzahl der Partikel N , nach Größe klassifiziert und gezählt, in verschiedenen Kanälen.

Unter Kenntnis des durch den OPZ angesaugten Luftvolumenstroms Q ist es einfach, die Anzahlkonzentration C_N in Form von Partikeln je Einheit Luftvolumen nach Gleichung (2) zu berechnen:

$$C_N = 0,001 \frac{N}{Q \times t} \quad (2)$$

Dabei ist

C_N die Anzahlkonzentration in Form von Partikeln je Einheit Luftvolumen, in 1/cm³;

N die Anzahl der gezählten Partikel;