

DIN EN 16897

ICS 13.040.30

Einsprüche bis 2015-10-07

Entwurf

**Exposition am Arbeitsplatz –
Charakterisierung ultrafeiner Aerosole/Nanoaerosole –
Bestimmung der Anzahlkonzentration mit
Kondensationspartikelzählern;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16897:2015**

Workplace exposure –
Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols –
Determination of number concentration using condensation particle counters;
German and English version prEN 16897:2015

Exposition sur les lieux de travail –
Caractérisation des aérosols ultrafins/nanoaérosols –
Détermination de la concentration en nombre à l'aide de compteurs de particules
d'aérosol à condensation;
Version allemande et anglaise prEN 16897:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-08-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nasg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 51 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)

Nationales Vorwort

Der hiermit der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegte Norm-Entwurf enthält die deutsche und englische Fassung des vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) ausgearbeiteten europäischen Norm-Entwurfs prEN 16897:2015.

Die Erstellung des vorliegenden Norm-Entwurfs erfolgte im Rahmen des an CEN, CENELEC und ETSI erteilten Mandats M/461 für Normungsaktivitäten hinsichtlich Nanotechnologie und Nanomaterialien.

Der Norm-Entwurf wird gleichzeitig national und europäisch zur Stellungnahme verteilt.

Die Mitarbeit von DIN in der zuständigen Arbeitsgruppe des Technischen Komitees CEN/TC 137 wird über den Arbeitskreis NA 095-03-01-01 AK „Staub“ des Arbeitsausschusses „Messstrategien und Anforderungen an Messverfahren“ (NA 095-03-01 AA) im DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) wahrgenommen.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des prEN 16897 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Dokumente ISO/TR 27628 und ISO 27891 existieren keine nationalen Entsprechungen.

Der im Abschnitt „Literaturhinweise“ zitierte CEN/TR 16013-3 liegt national in modifizierter Form als DIN 33899-3 vor.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 33899-3, *Exposition am Arbeitsplatz — Leitfaden für die Anwendung direkt anzeigender Geräte zur Überwachung von Aerosolen — Teil 3: Ermittlung der Konzentration luftgetragener Partikel mit Photometern*

Exposition am Arbeitsplatz — Charakterisierung ultrafeiner Aerosole/Nanoaerosole — Bestimmung der Anzahlkonzentration mit Kondensationspartikelzählern

Workplace exposure — Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols — Determination of number concentration using condensation particle counters

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.5a

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Kurzbeschreibung	6
5 Messverfahren.....	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Expositionsmessung.....	8
5.3 Emissionsmessung	8
5.4 Hintergrundmessung	8
6 Messverfahren.....	9
6.1 Auswahl des geeigneten Messgeräts	9
6.2 Vorbereitung.....	9
6.3 Überwachung	9
6.4 Probenahmeleitung	9
6.5 Anwendung eines Verdünners	10
7 Darstellung und Auswertung der Daten	10
8 Überprüfung der CPC-Leistung.....	10
9 Probleme und Unsicherheiten	11
9.1 CPC-Zählwirkungsgrad	11
9.2 Verluste bei der Probenahme	11
9.2.1 Allgemeines	11
9.2.2 Diffusionsverluste in einem Probenahmeschlauch	12
9.2.3 Interne Diffusionsverluste	13
9.3 Unsicherheiten	13
9.4 Wartung	14
Anhang A (informativ) Ergebnisse der pränormativen Forschung – Laborvergleiche von CPCs	15
Anhang B (informativ) Liste von Herstellern (nicht umfassend vollständig)	16
Anhang C (informativ) Liste von CPC-Messgeräten	17
Literaturhinweise	22

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16897:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, dass die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

Einleitung

Im Rahmen der Arbeitshygiene wurden Aerosolkonzentrationen traditionell in Form von Massenkonzentrationen gemessen. Für ultrafeine Aerosole und Nanoaerosole könnten zur Vorhersage von gesundheitlichen Auswirkungen bei einigen Aerosolen andere Expositionsmetriken, wie die Anzahl und die Oberflächenkonzentration, abhängig von den chemischen und physikalischen Eigenschaften, wichtig werden. Diese Europäische Norm gibt Empfehlungen für die Bestimmung der Anzahlkonzentration von ultrafeinen Aerosolen und Nanoaerosolen am Arbeitsplatz unter Verwendung von Kondensationspartikelzählern (CPC). Diese Europäische Norm kann von Arbeitshygienikern und Forschern zur Messung der Konzentration luftgetragener Partikel an Arbeitsplätzen angewendet werden.

Empfehlungen, wie eine Bewertung der Inhalationsexposition gegenüber Nanoobjekten und deren Agglomeraten und Aggregaten (NOAA) durchzuführen ist, darunter die zu übernehmende Messstrategie, werden in einer künftigen Europäischen Norm [13] vorgelegt werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gibt Leitlinien zur Messung der Partikelfraktion des Aerosols. Die Gasphase wird nicht berücksichtigt. Für ultrafeine Aerosole und Nanoaerosole könnte die Expositionsmetrik, wie die Anzahl und die Oberflächenkonzentration, bedeutsam sein.

Diese Europäische Norm gibt auch Leitlinien zur Bestimmung der Exposition am Arbeitsplatz gegenüber ultrafeinen Aerosolen und Nanoaerosolen durch Messung der Partikelanzahlkonzentration mit einem Kondensationspartikelzähler (CPC). Allerdings misst ein CPC bis zu mehreren μm und unterscheidet nicht zwischen Partikeln unterschiedlicher Größe und Herkunft.

Besonders diskutiert werden die CPCs, die unterschiedliche Arbeitsflüssigkeiten und Technologien verwenden bzw. anwenden. Abgedeckt sind die Grundlagen der Bedienung, Probleme der Probenahme im Umfeld des Arbeitsplatzes, Aspekte für die Auswahl eines geeigneten Messgeräts, Anwendungsgrenzen, Kalibrierung, Wartung des Geräts, Messunsicherheit und Angabe der Messergebnisse.

Beschrieben werden potenzielle Probleme und Einschränkungen, die behandelt werden müssen, wenn Messungen am Arbeitsplatz durchgeführt werden.

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).

EN 1540, *Exposition am Arbeitsplatz — Terminologie*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1540 und die folgenden Begriffe.

3.1

Hintergrundpartikelmessung

Messung der Partikelanzahlkonzentration an einem Ort oder zu einer Zeit, der/die nicht von der Tätigkeit/dem untersuchten Prozess betroffen ist

3.2

CMMD

en: Count Median Mobility Diameter

Anzahlmedian des Mobilitätsdurchmessers einer Partikelgrößenverteilung

3.3

Emissionspartikelmessung

Messung der Partikelanzahlkonzentration in unmittelbarer Nähe eines Prozesses oder einer Maschine

3.4

(äquivalenter) elektrischer Partikel-Mobilitätsdurchmesser

Durchmesser einer Kugel mit der gleichen elektrischen Mobilität wie das betreffende Partikel

3.5

Expositionspartikelmessung

Messung der Partikelanzahlkonzentration in der Nähe eines Arbeiters, vorzugsweise im Atembereich eines Arbeiters

3.6

Nanoaerosol

Aerosol, das aus Nanopartikeln und nanostrukturierten Partikeln besteht

[QUELLE: ISO/TR 27628:2007, Begriff 2.11]

3.7

Nanoobjekt

Material mit einem, zwei oder drei Außenmaß(en) im Nanomaßstab

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies ist ein generischer Begriff für alle einzelnen nanoskaligen Objekte.

[QUELLE: CEN ISO/TS 80004-1:2014, Begriff 2.5]

3.8

Partikelanzahlkonzentration

C_N [in cm^{-3}]

Anzahl der Partikel bezogen auf die Volumeneinheit des Trägergases

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die genaue Angabe der Partikelanzahlkonzentration ist eine Information über den Gaszustand (Temperatur und Druck) notwendig. Das kann einen Vergleich der gemessenen Anzahlkonzentration mit dem Prüfzertifikat eines CPC oder eine Korrektur des Nenndurchflusses mit dem tatsächlichen Volumenstrom einschließen. Dringend empfohlen wird eine häufige Kontrolle des Messgeräts einschließlich dessen Luftdurchsatz und Ansprechverhalten.

3.9

ultrafeines Partikel

Partikel mit einem Nenndurchmesser (wie beispielsweise geometrischer, aerodynamischer, Mobilitätsdurchmesser, projizierte Fläche oder anderweitig) von 100 nm oder weniger

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff wird oft im Zusammenhang mit als Nebenprodukt erzeugten Partikeln eines Verfahrens verwendet (beiläufig auftretende Partikel), wie beispielsweise Schweißrauch und Verbrennungsrauch.

[QUELLE: ISO/TR 27628:2007, Begriff 2.21]

4 Kurzbeschreibung

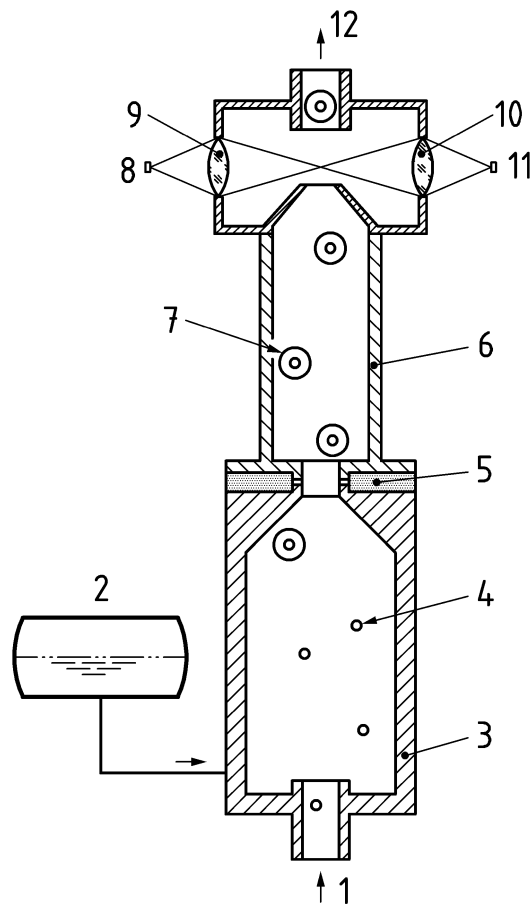
Das Grundprinzip aller verschiedenen CPC-Typen ist die Kondensation von übersättigten Dämpfen auf Partikeln. Die Partikel wachsen zu Tröpfchen mit Größen an, die optisch [1] erfasst werden können. Das Auszählen der Tröpfchen erfolgt über optische Lichtstreuung.

Ein CPC misst alle Schwebeteilchen innerhalb eines Bereichs von Partikeldurchmessern und Konzentrationen. Die Obergrenze liegt im Allgemeinen im Bereich von mehreren μm .

Die Aerosolpartikel werden am Einlass in das Messgerät eingesaugt. Um große Partikel zu vermeiden, die andernfalls in den Aerosoltransferleitungen des Messgeräts eingeschlossen werden könnten, kann eine Vortrennung angewendet werden. Ein Teil oder der gesamte Luftstrom wird in einen aufgeheizten Sättiger eingeleitet. Im Handel erhältliche CPCs verwenden unterschiedliche Arbeitsflüssigkeiten, um den Dampf zu erzeugen, z. B. Butanol, Isopropanol oder Wasser. Außerdem werden verschiedene Prinzipien angewendet, um die notwendige Übersättigung in der Probenluft zu erzielen. Die meisten CPCs wenden eine laminare Strömung und Diffusionswärmeübertragung an. Die Diffusionskonstante und der Sättigungsdampfdruck der Arbeitsflüssigkeit bestimmen die notwendigen Heiz- oder Kühlchritte, um eine Kondensation einzuleiten, und somit den prinzipiellen Aufbau einer laminaren Strömung im CPC. Das Gemisch aus Partikeln und übersättigtem Dampf erreicht die Kondensationszone, und der Dampf kondensiert auf den Partikeln. Die Größe der Tröpfchen erreicht in der Kondensationszone Durchmesser bis zu einigen Mikrometern. Das Tröpfchen durchläuft eine Detektionszone, in der es von einem fokussierten Lichtstrahl beleuchtet und ein Teil des gestreuten Lichts von einem Photodetektor erfasst wird. Die Häufigkeit dieses Vorgangs führt bei dem bekannten Volumen der angesaugten Luft zur Partikelkonzentration. Bei niedrigen Konzentrationen zählt der CPC einzelne Partikel und ermöglicht eine absolute Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration. Bei höheren Konzentrationen schließen einige Messgeräte eine Bewertung der gesamten Streulichtintensität ohne Einzelpartikelzählung ein und schätzen so die Anzahlkonzentration, die auf Annahmen der endgültigen Partikelgröße und optischen Eigenschaften beruht.

ANMERKUNG Ein anderer dem CPC gegebener Name ist Kondensationskernzähler (CNC).

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung des wahrscheinlich häufigsten CPC-Typs mit Laminarströmung durch einen aufgeheizten Sättiger und einen gekühlten Kondensator.



Legende

- | | |
|---|---------------------|
| 1 Aerosoleinlass | 7 Tröpfchen |
| 2 Vorratsbehälter der Arbeitsflüssigkeit | 8 Lichtquelle |
| 3 aufgeheizter Sättiger | 9 Beleuchtungsoptik |
| 4 Partikel | 10 Empfangsoptik |
| 5 thermoelektrische Kühl- und Heizvorrichtung | 11 Photodetektor |
| 6 Kondensationseinheit | 12 Aerosolauslass |

Bild 1 — Prinzip eines Kondensationspartikelzählers mit Laminarströmung

5 Messverfahren

5.1 Allgemeines

Der CPC liefert detaillierte Angaben über die Anzahlkonzentration des Aerosols innerhalb eines festgelegten Bereichs von Partikeldurchmessern und Konzentrationen. Ein Vergleich zu massebezogenen Arbeitsplatzgrenzwerten der luftgetragenen Gefahrstoffe ist nicht möglich.

Die analytische Rasterelektronenmikroskopie oder Transmissionselektronenmikroskopie kann für die Offline-Analyse der chemischen Zusammensetzung von luftgetragenen Partikeln eingesetzt werden, die auf einem geeigneten Substrat aufgefangen werden und eine alternative Möglichkeit für die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung bieten (siehe ISO/TR 27628).

5.2 Expositionsmessung

Messungen können in der Nähe oder im Atembereich eines Arbeiters durchgeführt werden, um Angaben zur persönlichen Exposition zu erhalten. Da CPC-Messgeräte als stationäre oder mobile Monitore verfügbar sind, muss bei der Verwendung von Probenahmeschläuchen eine repräsentative Probenahmeposition für die persönliche Exposition gefunden werden, wie in 6.4 angegeben. Die Merkmale des Luftströmungsprofils am Arbeitsplatz, z. B. die Richtung der Luftströmung relativ zur Partikelquelle und zur Probenahmeposition und das Vorhandensein von mehreren Partikelquellen sind für die Auswahl einer Probenahmeposition oder die Auswertung der Exposition der Arbeiter entscheidend.

Bei sich umherbewegenden Arbeitern könnte es notwendig sein, eine andere Probenahmestrategie (z. B. zeitgewichtete Mittelwertbildung) anzuwenden oder die geeignetere Strategie könnte eine Emissionsmessung sein.

ANMERKUNG Unter manchen Arbeitsplatzbedingungen ist es nicht möglich, eine repräsentative Probenahmeposition zu finden. In diesen Fällen sind die gemessenen Konzentrationen weniger zuverlässig und sind nur Schätzungen der Exposition des Arbeiters.

Allgemeine Angaben über die Messstrategie an Arbeitsplätzen können aus EN 689 entnommen werden. Weitere detaillierte Angaben über mehrstufige Ansätze für die Ermittlung und Beurteilung der Exposition gegenüber hergestellten Nanomaterialien sind in [8] und [13] zu finden. Diese Ansätze bestehen im Allgemeinen in der Sammlung von Informationen, vorbereitenden Prüfungen mit im Einsatz befindlichen Nanomaterialien, einer grundlegenden Expositionsmessung und einer Expositionsbeurteilung durch einen Experten.

5.3 Emissionsmessung

Die Bestimmung der Emission aus einem Vorgang, einem Verfahren oder einer Maschine kann mit einem CPC an einer repräsentativen Position durchgeführt werden. Dafür können stationäre und mobile Messgeräte eingesetzt werden. Unterschiede im effektiven Größen- und Konzentrationsbereich des Messgeräts für die in die Probe einbezogenen Partikel müssen berücksichtigt werden. Die Luftströmungen und Emissionsrichtungen müssen vor der Messung überprüft werden.

Durch Änderung der Messposition kann ein Überblick über die Emissionsquellen der Partikel am Arbeitsplatz oder eine Anzahlkonzentrationskarte erzielt werden [9].

5.4 Hintergrundmessung

Der Einfluss von verschiedenen Quellen auf die Anzahlkonzentration am Arbeitsplatz kann entscheidend sein. Es ist wichtig, den Beitrag aus anderen Quellen zur Arbeitsplatzkonzentration zu kennen, um lediglich die aus dem untersuchten Arbeitsprozess stammende Anzahlkonzentration zu bestimmen. Externe Quellen bestehen oft aus unbeabsichtigt erzeugten Partikeln und könnten möglicherweise vom Messobjekt unterschiedlich zu behandeln sein.

Am Arbeitsplatz kann die Hintergrundmessung mit einer räumlichen oder einer zeitabhängigen Vorgehensweise realisiert werden. Bei der räumlichen Vorgehensweise werden zwei CPCs gleichzeitig eingesetzt und die Anzahlkonzentrationen werden verglichen. Ein CPC, oft als Nahfeld-Gerät bezeichnet, wird in der Nähe oder im Atembereich des Arbeiters oder in der Nähe der Tätigkeit oder des Arbeitsablaufs platziert. Im Idealzustand wird der andere CPC, oft als Fernfeld-Gerät bezeichnet, an einem entfernten Ort platziert, wo die Emissionsquelle des Nanoobjekts nicht detektiert wird und bei der die Hintergrundsignatur die gleiche ist wie die mit dem Nahfeld-CPC gemessene. Die zeitabhängige Vorgehensweise wird mit einem in der Nähe oder im Atembereich des Arbeiters oder in der Nähe der Tätigkeit oder des Arbeitsablaufs platzierten Messgerät realisiert und die Zeitspannen mit und ohne Nanomaterial bezüglich der laufenden Tätigkeit oder des Arbeitsablaufs werden verglichen. Details zur Abschätzung der Inhalationsexposition mit Nanoobjekten einschließlich der Messstrategie sind in [13] beschrieben.

6 Messverfahren

6.1 Auswahl des geeigneten Messgeräts

Die Partikelgröße und der Konzentrationsbereich für einen CPC sollte so ausgewählt werden, dass die gesamte Größenverteilung der ultrafeinen Partikel/Nanoobjekte am Arbeitsplatz abgedeckt wird.

Das ist besonders wichtig, weil in bestimmten Fällen die aggregierte Partikelgröße deutlich über dem oberen Messbereich von CPCs liegen kann. Das kann bei der Handhabung von nanostrukturierten Pulvern auftreten. In diesen Fällen könnte ein CPC allein nicht das geeignete Messgerät sein.

Im Falle von verfahrensmäßig entstandenen Partikeln zeigt die praktische Erfahrung, dass die Maxima der Partikelanzahlgrößenverteilungen in Abhängigkeit vom Auftreten von primären, aggregierten und agglomerierten ultrafeinen Partikeln zwischen etwa 10 nm und 500 nm liegen. Die gefundene Gesamtanzahlkonzentration an Arbeitsplätzen variiert zwischen 10^3 Partikeln/cm³ in sauberer Luft und 10^8 Partikeln/cm³ im Schweißrauch [3]. In der Hand gehaltene CPCs weisen im Allgemeinen bei kleinen Partikeln (< 20 nm) eine geringere Empfindlichkeit als stationäre Geräte auf. Die Obergrenze des Konzentrationsbereichs muss immer berücksichtigt werden. Besondere Aufmerksamkeit ist bei der Messung von hydrophoben Partikeln notwendig, da nicht alle Arten von CPCs deren Messung zulassen. Einige Informationen sind in Anhang C enthalten. Die Geräte können in einem bestimmten Temperaturbereich eingesetzt werden, in der Regel zwischen 10 °C und 35 °C (Herstellerangaben überprüfen).

6.2 Vorbereitung

Der CPC und dessen Luftstrom müssen regelmäßig, vor allem vor und nach einer Reihe von Messungen, überprüft werden (siehe Abschnitt 8). Vor der Durchführung einer Reihe von Messungen muss eine Nullkontrolle des CPC mit dem Einsetzen eines hoch effizienten Partikelabscheiders (HEPA-Filter) in der Probenahmeleitung vorgenommen werden.

Dringend empfohlen wird vor und nach einer Reihe von Messungen der Vergleich des CPC mit einem anderen CPC.

6.3 Überwachung

Wenn die Exposition der Arbeiter abzuschätzen ist, dann muss das Aerosol im Atembereich des Arbeiters gesammelt werden.

Die Probe muss an einer repräsentativen Stelle im Atembereich oder in unmittelbarer Nähe des Atembereichs des Arbeiters entnommen werden. Es darf eine Probenahmeleitung, wie in 6.4 angegeben, angewendet werden. Wenn der Arbeiter nicht stillsteht, können Proben an verschiedenen Stellen, entweder durch Bewegen des Einlasses der Probenahmeleitung oder durch Bewegen des CPC entnommen werden.

Diffusionsverluste in der Leitung sind nur zu berücksichtigen, wenn zusätzliche Angaben über die Größenverteilung zur Verfügung stehen (siehe 9.2).

Das Messzeitintervall des Partikelzählers kann zwischen 1 s und Stunden ausgewählt werden. Besonders bei stark schwankenden Konzentrationen, wie an Schweißearbeitsplätzen, wird die kürzeste Zeit empfohlen. Die Dauer einer Messung muss eine ganze Schicht (im Allgemeinen 8 h) oder eine repräsentative Tätigkeit des Arbeiters oder eine Dauer umfassen, die für den Prozess oder die Aufgabe an dem Arbeitsplatz repräsentativ ist.

6.4 Probenahmeleitung

Die Aerosolprobe kann mit einem (flexiblen) Schlauch (z. B. zwecks Zugang zum Atmungsbereich eines Arbeiters) entnommen werden. Das Material des Schlauches muss elektrisch leitend sein. Partikeldiffusionsverluste sind zu minimieren. Das lässt sich mit dem Einsatz von Schläuchen mit möglichst kurzer Länge bewerkstelligen. Die Strömung in der Probenahmeleitung muss laminar sein. Ein maximaler Volumenstrom kann in Abhängigkeit vom Innendurchmesser des Schlauches berechnet werden (siehe [6]).

6.5 Anwendung eines Verdünners

Wenn der maximale Konzentrationsbereich des Messgeräts erreicht oder überschritten wird, kann eine Verdünnung mit partikelfreier Luft angewendet werden. Andernfalls müssen die Daten an oder über diesem Grenzwert ausgeschlossen werden. Ein Verdünnungssystem könnte bei der Messung eine relativ hohe Unsicherheit einbringen, da es über einen breiten Partikelgrößen- und Konzentrationsbereich möglicherweise nicht stabil sein könnte. Geeignete Verdünnungssysteme sind in [14] beschrieben.

7 Darstellung und Auswertung der Daten

Die aufgezeichneten Zeitreihen bilden die Grundlage für die Bewertung von Arbeitsprozessen und zum Erzeugen von statistischen Werten. Deshalb wird empfohlen, sie für eine spätere Verwendung aufzubewahren.

Die resultierende Partikelanzahlkonzentration C_N wird als arithmetischer Mittelwert, geometrischer Mittelwert und Minimal- und Maximalwert über den ausgewählten Bezugszeitraum (beispielsweise 15 min oder 8 h) oder als Zeitreihe angegeben. Das Messzeitintervall des Messgeräts und die Mittelungszeit der Datenauswertung sind anzugeben.

Die gemessenen Konzentrationswerte stellen nur die Konzentration innerhalb des Partikelgrößenbereichs des CPC dar. Weil Partikel außerhalb des Partikelgrößenbereichs nicht detektiert werden, muss immer der Partikelgrößenbereich des CPC angegeben werden. Ist vor dem CPC ein Partikelgrößen-Vorabscheider angebracht, muss dessen Trennleistung (als Funktion der Partikelgröße) angegeben werden. Abhängig vom Ziel der Messungen können die Anzahlkonzentrationsdaten unterschiedlich dargestellt werden, zum Beispiel:

- als Vergleich der unterschiedlichen Expositionssituationen;
- als zeitliches Auftreten von Peaks, die sich auf Arbeitsschritte oder Aktivitäten am Arbeitsplatz in einem Expositionsszenario beziehen;

ANMERKUNG Das erfordert ein Aktivitätsprotokoll.

- als Zeitreihe in Form eines Diagramms zur Veranschaulichung und zum Vergleich der Arbeitsprozesse. In Kombination mit der Zeitreihe können auch Videoaufnahmen verwendet werden.

Leitlinien für die Auswertung der Daten werden in [13] zur Verfügung gestellt. Alle relevanten Messgeräteparameter wie Messbereich, Luftströmungen, Detektions- oder Mittelungszeit sowie die Identifizierung des CPC-Modells müssen im Messprotokoll angegeben werden. Außerdem muss die Probenahmeausrüstung, wie z. B. Pufferbehälter oder Probenahmeleitung, beschrieben werden. Wenn die Größenverteilung bekannt ist, sind Korrekturen von Diffusionsverlusten abzuschätzen.

8 Überprüfung der CPC-Leistung

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm ist eine Kalibrierung gegen die Anzahlkonzentration nur mit einem Referenzmessgerät und einer stabilen Partikelquelle von geeigneter Partikelgröße möglich (siehe auch 9.1). Es gibt kein Primärnormal für die Partikelanzahlkonzentration. Ein mögliches zukünftiges Normverfahren könnte auf einem stabilen Koagulationseffekt basieren (siehe [3]). Ein Anwender kann regelmäßig die Funktion des CPC durch den Vergleich verschiedener CPCs oder den Vergleich mit Elektrometern oder differentiellen elektrischen Mobilitätsanalysesystemen unter Verwendung einer Partikelquelle mit der Partikelgröße und Konzentration in den für alle eingesetzten Messgeräte festgelegten Bereichen überprüfen. Empfehlungen von Herstellern können befolgt werden.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung benutzen die Hersteller von CPCs Referenzmessgeräte [Faraday-Cup-Elektrometer (FCE) oder CPC], um die Zählrate der Messgeräte, die sie liefern, einzustellen. Eine alternativ empfohlene Möglichkeit ist, an Ringversuchen teilzunehmen (siehe [4]), die auch kommerziell verfügbar sind. Für den Vergleich eines CPC mit einem Elektrometer siehe ISO 27891 und EN ISO 28439.

9 Probleme und Unsicherheiten

9.1 CPC-Zählwirkungsgrad

Im Allgemeinen hängt die Detektionseffizienz von der Partikelanzahlkonzentration, der Partikelgröße und der Partikelzusammensetzung ab. Die von den Messgeräten erfassten Partikelgrößen reichen von etwa 2 nm bis 1 000 nm.

Beispielsweise zeichnet sich der CPC durch eine untere Partikelgröße d_{50} aus, bei der die Zähleffizienz 50 % beträgt. Die Angaben vom Hersteller müssen berücksichtigt werden, und der geltende Messbereich muss festgelegt werden. Ist die Partikelgrößenverteilung bekannt, kann eine Korrektur der Zähleffizienz angewendet werden. Diese muss im Bericht angegeben werden. Bei Gasphasenprozessen können kleine Partikelgrößen unterhalb von ungefähr 30 nm entstehen. Für eine annähernde Korrektur der gemessenen Konzentration kann der Medianwert von Größenverteilungen, die um d_{50} liegen, eingesetzt werden.

Tragbare CPCs wie der TSI P-Trak 8525^{TM 1)} und TSI CPC 3007^{TM 1)} haben d_{50} -Werte von 20 nm und 10 nm (siehe Anhang C). Beim Betrieb dieser Messgeräte genügend oberhalb dieser Untergrenzen zeigten Vergleichsuntersuchungen eine gute Vergleichbarkeit mit einem Referenzmessgerät (Abweichungen von 5 % bis 10 % in Bezug auf die Partikelanzahlkonzentrationen). Die maximal feststellbare Anzahlkonzentration mit einem CPC im Einzelpartikelanzahl-Modus ist durch Koinzidenzzählraten begrenzt, was zu einer Unterschätzung der Konzentration führt. Um diesen Effekt zu vermeiden, können vor der Probenahmeleitung Verdünnungsstufen eingesetzt werden. Ist die Zähleffizienz nicht bekannt, ist das in den Bericht aufzunehmen. Derzeitig im Einsatz befindliche Geräte haben obere Konzentrationsgrenzen bei Koinzidenzfehlern zwischen 100 000 cm⁻³ bis zu 400 000 cm⁻³ im Einzelpartikelzählmodus und bis zu 10⁷ cm⁻³ im photometrischen Modus. Die Bestimmung von Konzentrationen um die Konzentration herum beim Umschalten zwischen Einzelpartikelzählung und photometrischem Modus kann zu merklichen Sprüngen der angezeigten Konzentration führen. Die meisten der in Anhang C aufgeführten Geräte haben nach den Spezifikationen des Herstellers eine Genauigkeit von 10 % oder besser. Von den CPC-Herstellern wird keine allgemein akzeptierte Festlegung der Genauigkeit angegeben. Stattdessen haben sie möglicherweise jeweils ihre eigene Festlegung.

Bei der Messung einiger hydrophober Materialien kann bei wasserbasierten CPCs eine geringe Zähleffizienz auftreten. In diesem Fall müssen Messgeräte mit anderen Arbeitsflüssigkeiten eingesetzt werden. Hinweise des Herstellers sind zu beachten. Siehe auch [7].

9.2 Verluste bei der Probenahme

9.2.1 Allgemeines

Es gibt zwei Arten von Verlusten bei der Probenahme, die die gemessene Konzentration beeinflussen:

- 1) Diffusionsverluste im Inneren des Probenahmeschlauchs (falls verwendet);
- 2) Diffusionsverluste innerhalb des CPC.

1) TSI P-Trak 8525TM und TSI CPC 3007TM sind Beispiele für geeignete, handelsübliche Produkte. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieser Europäischen Norm und bedeutet keine Anerkennung dieser genannten Produkte durch CEN.

9.2.2 Diffusionsverluste in einem Probenahmeschlauch

Bei einer Probenahmeleitung (mit kreisförmigen Querschnitt) können die Diffusionsverluste unter Anwendung von Formel (1) (siehe [6]) abgeschätzt werden:

$$p = \begin{cases} 1 - 5,50 \mu^{2/3} + 3,77 \mu & \mu < 0,007 \\ 0,819 e^{-11,5\mu} + 0,975 e^{-70,1\mu} + 0,0325 e^{-179\mu} & \mu \geq 0,007 \end{cases} \quad (1)$$

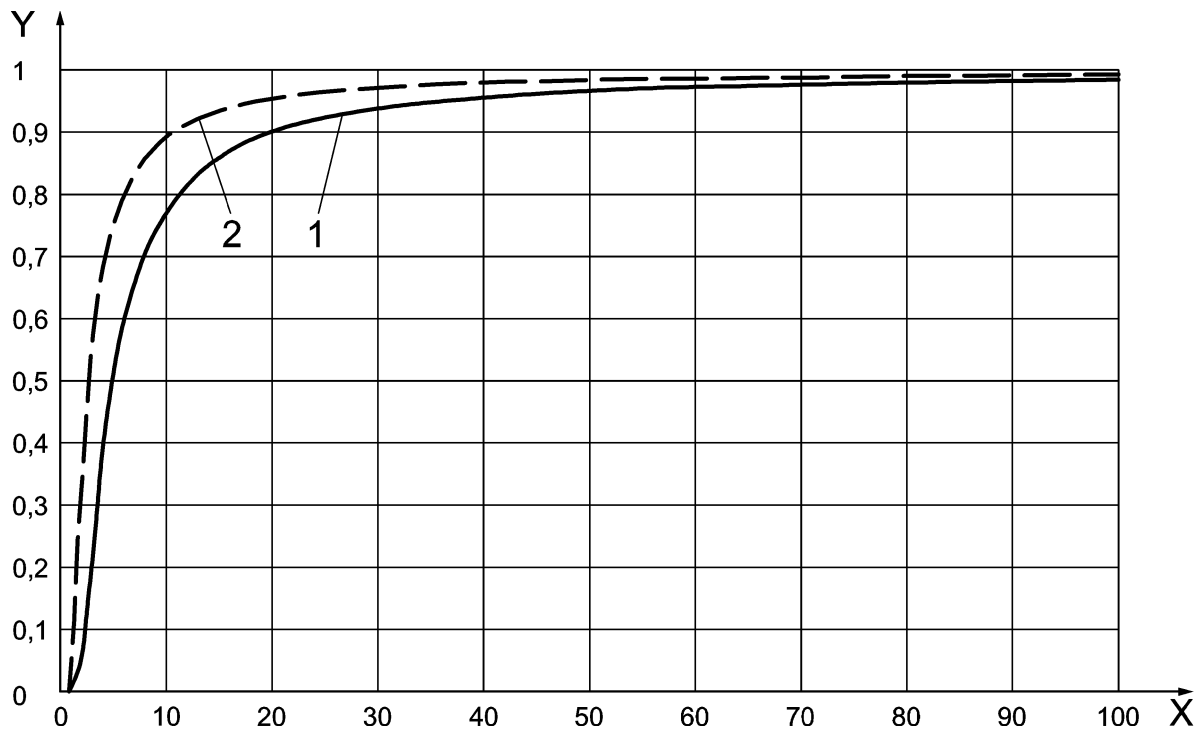
$$\mu = \frac{DL}{F_1}$$

$$D = k T B$$

Dabei ist

- p der Durchlasswert der Probenahmeleitung;
- B mechanische Beweglichkeit der Partikel, in s/kg;
- D der Partikeldiffusionskoeffizient, in m²/s;
- F_1 der Volumenstrom der Probenluft, in m³/s;
- k die Boltzmann-Konstante, $1,38 \times 10^{-23}$ N · m/K;
- L die Länge der Probenahmeleitung, in m;
- T die absolute Temperatur, bei der der CPC betrieben wird, in K.

In Bild 2 ist ein Beispiel für Diffusionsverluste dargestellt. Die Verluste werden für laminare Strömung in einem Schlauch mit einer Länge von 1 m bei Luftströmen von 0,3 l/min und 1 l/min berechnet (entspricht $0,5 \times 10^{-5}$ m³/s und $1,7 \times 10^{-5}$ m³/s). Für die Berechnung der Diffusionsverluste ist der Durchmesser des Schlauches irrelevant. Bei Partikeldurchmessern unter 40 nm (entspricht 40×10^{-9} m) bei einem Volumenstrom von 0,3 l/min und bei Partikeldurchmessern unter 20 nm bei einem Volumenstrom von 1,0 l/min überschreiten die Verluste mehr als 5 %.



Legende

X Partikeldurchmesser, in nm
Y Durchlasswert

Bild 2 — Diffusionsverluste, berechnet für einen Schlauch mit einer Länge von 1 m, ausgeführt mit zwei Volumenströmen

9.2.3 Interne Diffusionsverluste

Partikelverluste innerhalb des CPC müssen vom Hersteller festgelegt sein und von der Software des Messgeräts berücksichtigt werden; das muss jedoch vom Anwender überprüft werden. Diffusionsverluste sind bei geringem Probenluftdurchsatz, der im Allgemeinen geringer als 0,5 l/min ist, am höchsten. Der Anwender kann die internen Verluste eines CPC mit geringem Probenluftdurchsatz durch parallele Probenahme mit einem CPC mit hohem Probenluftdurchsatz mit Hilfe eines in einem Labor räumlich homogenen und zeitlich konstant erzeugten Prüfaerosols mit einem CMMD im Bereich von 10 nm bis 50 nm durch Vergleichen der gemessenen Konzentrationen bestimmen.

9.3 Unsicherheiten

Die Genauigkeit eines CPC hängt von verschiedenen Einflüssen wie Variation der Durchflussrate, Zählverlusten bei sehr hohen Konzentrationen, ineffiziente Kondensation auf der Oberfläche von Partikeln oder bei sehr kleinen Partikeln und Verlusten vom Aerosoleinlass zur Nachweiszone ab. Eine Kalibrierung vom Hersteller muss sich auf diese Abhängigkeiten erstrecken.

Der Kalibrierung seitens des Herstellers legt eine Detektionseffizienz η für eine bestimmte Partikelgröße, eine bestimmte Partikelanzahlkonzentration und für eine bestimmte Art der erzeugten Partikel fest. Die wesentlichen Größen, die eine Bestimmung der Unsicherheit erfordern, sind die Partikelgröße und die Detektionseffizienz. Weitere Informationen können aus ISO 27891 entnommen werden. Die korrigierte Partikelkonzentration C_{corr} ist eine Funktion der mit einem Kondensationspartikelzähler gemessenen CPC-Konzentration C_{CPC} und der Detektionseffizienz η :

$$C_{\text{corr}} = \frac{C_{\text{CPC}}}{\eta} \quad (2)$$

Dabei ist

- C_{corr} die korrigierte Partikelkonzentration, in cm^{-3} ;
- C_{CPC} die vom CPC gemessene/angezeigte Partikelkonzentration, in cm^{-3} ;
- η die Detektionseffizienz des CPC.

ANMERKUNG η ist größenabhängig.

Die entsprechende kombinierte relative Standardunsicherheit $u_{\text{c,r}}$ setzt sich zusammen aus:

$$u_{\text{c,r}}^2(C) = u_{\text{r}}^2(C_{\text{CPC}}) + u_{\text{r}}^2(\eta_{\text{CPC}}) \quad (3)$$

Dabei ist

- $u_{\text{c,r}}^2(C)$ die kombinierte relative Standardunsicherheit;
- $u_{\text{r}}^2(C_{\text{CPC}})$ die relative Standardunsicherheit vom Zählfehler;
- $u_{\text{r}}^2(\eta_{\text{CPC}})$ die relative Standardunsicherheit der aus den Kalibrierergebnissen erzielten CPC-Effizienz.

Der Beitrag $u_{\text{r}}^2(\eta)$ wird vom Hersteller durch eine Kalibrierung mit einem Faraday-Cup-Aerosolelektrometer oder einem Referenz-CPC angegeben. Der Beitrag $u_{\text{r}}^2(C_{\text{CPC}})$ des Zählfehlers folgt bei niedrigen Werten der Poissonschen Verteilung und kann wie folgt angegeben werden

$$u_{\text{r}}^2(C_{\text{CPC}}) = \frac{1}{C_{\text{CPC}} q_{\text{CPC}} t} \quad (4)$$

Dabei ist

- C_{CPC} die vom CPC gemessene/angezeigte Partikelkonzentration, in cm^{-3} ;
- q_{CPC} der Volumenstrom am Einlass des CPC, in l/min ;
- t die Probenahmedauer, die den Wert von C_{CPC} ergibt, in s,

mit dem Volumenstrom am Aerosoleinlass q_{CPC} und dem Mittelungszeitintervall t . Eine Konzentration von 60 cm^{-3} bei einem Volumenstrom von 1 l/min und einem Mittelungszeitintervall von 10 s ergäbe eine Unsicherheit von 1% .

Weitere Einflüsse wie die Zeit zur Anpassung an sich schnell verändernde Konzentrationen oder Effekte aufgrund eines hoch aufgeladenen Aerosols können eine zusätzliche Rolle spielen.

9.4 Wartung

Die Volumenströme der Geräte müssen regelmäßig überprüft werden, und die Messgeräte für den Volumenstrom müssen kalibriert werden.

Die Wartung des Geräts muss in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Einsatzes nach den Anweisungen des Herstellers vorgenommen werden. Beispielsweise muss die Flüssigkeit im CPC regelmäßig ausgetauscht werden.