

DIN ISO 16000-34

Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 5.

ICS 13.040.20

**Innenraumluftverunreinigungen –
Teil 34: Strategien zur Messung von Schwebstoffen (ISO 16000-34:2018)**

Indoor air –

Part 34: Strategies for the measurement of airborne particles (ISO 16000-34:2018)

Air intérieur –

Partie 34: Stratégie pour la mesure des particules en suspension (ISO 16000-34:2018)

Gesamtumfang 60 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Ursprung, Eigenschaften und gesundheitliche Implikationen von luftgetragenen Partikeln	12
4.1 Ursprung und Eigenschaften	12
4.2 Gesundheitliche Auswirkungen	13
5 Quellen von Innenraumpartikeln und Partikeldynamik in Innenräumen	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Quellen für Innenraumpartikel.....	15
5.2.1 Typische Innenraumquellen	15
5.2.2 Einfluss der Räumlichkeiten	15
5.2.3 Von typischen Quellen erzeugte Partikelgrößenbereiche	16
5.3 Partikeldynamik in Innenräumen.....	17
5.3.1 Hauptsinken für Partikel	17
5.3.2 Variationen des Partikelspektrums	17
5.3.3 Auswirkung von Klimaanlage	17
5.3.4 Raumnutzungsbedingungen.....	17
6 Messverfahren für luftgetragene Partikel in Innenräumen	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Beschreibung etablierter Verfahren	18
6.2.1 Allgemeines	18
6.2.2 Zyklon	22
6.2.3 Impaktoren (Impaktor – Kaskaden-Impaktor – LPI – MOI).....	23
6.2.4 Differenzieller Mobilitätsanalysator (DMA, en: differential mobility analyser)	24
6.2.5 Aerosol-Massenspektrometer (AMS)	25
6.2.6 Aerosol-Massenmonitor (AMM)	26
6.2.7 Oszillations-Mikrowaage (OMB, en: oscillating microbalance).....	27
6.2.8 Betastrahlenabschwächungs-(BRA-)Monitor	27
6.2.9 Mikroskopie (OM – SEM – TEM).....	28
6.2.10 Streulicht-Aerosolspektrometer (LSAS)	29
6.2.11 Laufzeit-Spektrometer (TOF-AS)	30
6.2.12 Kondensationspartikelzähler (CPC – UF CPC – CPC mit SES – CPC im Fotometriemodus).....	30
6.2.13 Faraday-Auffänger-Aerosolelektrometer (FCAE).....	31
6.2.14 Fast response Aerosolspektrometer (FRAS)	32
6.2.15 Niederdruck-Impaktor mit elektrischer Erkennung (LPI+E).....	32
7 Allgemeine Probenahme-Empfehlungen.....	33
7.1 Instrumente und Probenahmesystem	33
7.2 Messpunkt.....	33
7.3 Messzeit und Messdauer	34
7.4 Geschätzte Konzentrationsskala (Mindest- und Höchstwert, Genauigkeit)	34

7.5	Hintergrundkonzentration	35
7.6	Auswirkung der Außenluftqualität	35
7.7	Auswirkung der Raumbedingungen.....	36
7.8	Auswirkung der Messung.....	36
8	Messstrategie zur Bestimmung von Schwebstoffen in Innenräumen.....	37
8.1	Allgemeines	37
8.2	Vorbereitende Arbeiten — Definition des Messziels und Liste allgemeiner Informationen.....	37
8.2.1	Allgemeines	37
8.2.2	Erklärung über den Zweck der Messung	37
8.2.3	Liste der erwarteten Hauptquellen	37
8.2.4	Zeitliche Wirkungen.....	38
8.2.5	Beschreibung des Innenraums.....	38
8.3	Sichtprüfung des Raums — Definition der Messplanung und -strategie	39
8.4	Vorläufige Messungen	40
8.5	Messverfahren	40
8.5.1	Allgemeines	40
8.5.2	Verfahren zur Bestimmung des Hintergrunds.....	40
8.5.3	Verfahren zur Schätzung des Einflusses der Außenluftkonzentration (Umgebungsluft)	41
8.5.4	Verfahren zur Identifizierung der Hauptquellen in einem Raum.....	42
8.5.5	Verfahren zur Messung der durchschnittlichen und zeitbereinigten Emission einer bestimmten Quelle.....	44
8.5.6	Verfahren zur Schätzung der Effizienz von Eindämmungsverfahren (d. h. Filterung durch die Klimaanlage).....	45
9	Unsicherheitsbewertung	46
10	Bewertung und Angabe der Ergebnisse	47
11	Dokumentation	47
12	Qualitätssicherung.....	48
12.1	Leistungsspezifikationen.....	48
12.2	Qualitätssicherung bei der Bestimmung der Partikelanzahlkonzentrationen.....	49
12.2.1	Allgemeines	49
12.2.2	Probenahme-Volumenstrom	49
12.2.3	Prüfen der Geräteparameter	49
12.3	Qualitätssicherung bei der Bestimmung der Partikelmassenkonzentrationen	49
12.3.1	Berechnung der Massenkonzentration auf der Grundlage der gemessenen Zahlenkonzentration	49
12.3.2	Gravimetrische Massenkonzentrationsmessung	50
Anhang A (normativ)	Protokoll für die Messung von Innenraum-Schwebstoffen	51
Literaturhinweise.....		56

Nationales Vorwort

Internationale Technische Regelsetzung zum Innenraumluftbereich

ISO 16000-34 wurde von der Arbeitsgruppe ISO/TC 146/SC 6/WG 21, „Strategies for the measurement of airborne particles“, des Technischen Komitees ISO/TC 146, „Air quality“, Subcommittee (SC 6), „Indoor air“, erarbeitet. Das Sekretariat der WG 21 liegt bei Deutschland. An der Erstellung dieser Norm war der Fachbereich IV „Umweltmesstechnik“ der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss maßgeblich beteiligt.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 16000-1 siehe DIN EN ISO 16000-1

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nationale Technische Regelsetzung zum Innenraumluftbereich

DIN ISO bzw. DIN EN ISO 16000 mit dem allgemeinen Titel Innenraumluftverunreinigungen besteht aus folgenden Teilen:

- DIN EN ISO 16000-1, *Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie*
- DIN EN ISO 16000-2, *Probenahmestrategie für Formaldehyd*
- DIN ISO 16000-3, *Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern — Probenahme mit einer Pumpe*
- DIN ISO 16000-4, *Bestimmung von Formaldehyd — Probenahme mit Passivsammlern*
- DIN EN ISO 16000-5, *Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)*
- DIN ISO 16000-6, *Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID*
- DIN EN ISO 16000-7, *Probenahmestrategie zur Bestimmung luftgetragener Asbestfaserkonzentrationen*
- DIN ISO 16000-8, *Bestimmung des lokalen Alters der Luft in Gebäuden zur Charakterisierung der Lüftungsbedingungen*
- DIN EN ISO 16000-9, *Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen — Emissionsprüfkammer-Verfahren*
- DIN EN ISO 16000-10, *Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen — Emissionsprüfzellen-Verfahren*
- DIN EN ISO 16000-11, *Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen — Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke*

- DIN EN ISO 16000-12, *Probenahmestrategie für polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)*
- DIN ISO 16000-13, *Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener dioxin-ähnlicher polychlorierter Biphenyle (PCB) und polychlorierter Dibenzo-p-dioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) — Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien*
- DIN ISO 16000-14, *Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polychlorierter dioxin-ähnlicher Biphenyle (PCB) und polychlorierter Dibenzo-p-dioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) — Extraktion, Reinigung und Analyse mit hochauflösender Gaschromatographie und Massenspektrometrie*
- DIN EN ISO 16000-15, *Probenahmestrategie für Stickstoffdioxid (NO₂)*
- DIN ISO 16000-16, *Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Probenahme durch Filtration*
- DIN ISO 16000-17, *Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Kultivierungsverfahren*
- DIN ISO 16000-18, *Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Probenahme durch Impaktion*
- DIN ISO 16000-19, *Probenahmestrategie für Schimmelpilze*
- DIN ISO 16000-20, *Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Bestimmung der Gesamtsporenanzahl*
- DIN ISO 16000-21, *Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen — Probenahme von Materialien*
- DIN ISO 16000-23, *Leistungsprüfung zur Beurteilung der Konzentrationsminderung von Formaldehyd durch sorbierende Baumaterialien*
- DIN ISO 16000-24, *Leistungsprüfung zur Beurteilung der Konzentrationsminderung von flüchtigen organischen (ohne Formaldehyd) durch sorbierende Baumaterialien*
- DIN ISO 16000-25, *Bestimmung der Emission von schwerflüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten — Mikro-Prüfkammervorgang*
- DIN ISO 16000-26, *Probenahmestrategie für Kohlendioxid (CO₂)*
- DIN ISO 16000-27, *Standardverfahren für die quantitative Analyse von Asbestfasern in abgelagertem Staub*
- DIN ISO 16000-28, *Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer*
- DIN ISO 16000-29, *Prüfverfahren für VOC Detektoren*
- DIN ISO 16000-30, *Sensorische Prüfung der Innenraumluft*
- DIN ISO 16000-31, *Bestimmung von Flammschutzmitteln und Weichmachern auf der Basis phosphororganischer Verbindungen — Phosphorsäureester*
- DIN ISO 16000-32, *Untersuchung von Gebäuden auf Schadstoffe*

Weiterhin wird auf

DIN EN ISO 16017-1, Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz — Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie — Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe

und

DIN EN ISO 16017-2, Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz — Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie — Teil 2: Probenahme mit Passivsammelern

hingewiesen, in denen VOC-Messungen beschrieben werden.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 146, *Air quality*, Unterkomitee SC 6, *Indoor air*, erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 16000 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Schwebstaubpartikel (allgemein auch als „Feinstaub“ bekannt) spielen nicht nur in Außenbereichen, sondern auch im Bereich der Hygiene, insbesondere in Innenräumen, eine wichtige Rolle. Menschen in Industrieländern verbringen die meiste Zeit des Tages in Innenräumen. Partikel werden entweder aus Außenumgebungen in die Innenraumluft transportiert, oder die Partikel stammen direkt von Innenraumquellen wie Rauchen, Hausarbeit und Heimwerken, brennenden Kerzen, Kaminfeuer, Kochen und Druckernutzung. Die Konzentration, Zusammensetzung und Größenverteilung von Schwebstoffen in Innenräumen hängen stark von Parametern wie den im Raum vorhandenen Quellen, der Raumgröße, relativer Luftfeuchte, Luftaustauschrate, Luftströmungsbedingungen und Effekten von Senken auf Oberflächen (z. B. Wände, Decken, Bodenabdeckungen, Heimtextilien) ab. Zusätzlich können bereits abgelagerte Partikel durch verschiedene Aktivitäten erneut aufströmen und daraufhin eingeatmet werden. Je nach Einzelfall kann all dies zu einem sehr unterschiedlichen Maß an Feinstaubverschmutzung in Innenräumen führen, dessen Auswirkung auf die Gesundheit nicht leicht zu bestätigen oder zu beurteilen ist.

Die folgenden Räume gelten für die Normenreihe ISO 16000 als Innenräume: Wohnräume mit Wohnzimmern, Schlafzimmern, Arbeitszimmern, Sporträumen, Keller, Küchen und Badezimmern; Arbeitsbereiche oder Arbeitsplätze in Gebäuden, die nicht den Industriesicherheitsvorschriften für Verschmutzung durch Schwebstoffe unterliegen (z. B. Büro- und Geschäftsräume); öffentliche Gebäude (z. B. Restaurants, Theater, Kinos, andere Funktionsräume) sowie Fahrgasträume in Fahrzeugen und allen öffentlichen Verkehrsmitteln (z. B. Busse, Eisenbahnen und Flugzeuge).

Epidemiologische und toxikologische Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass gesundheitliche Auswirkungen stärker mit Submikron-Partikeln verbunden sind[33]. Tatsächlich können ultrafeine Partikel (UFP) aufgrund ihrer geringen Größe tief in den Körper eindringen und zu gesundheitsschädigenden Effekten beitragen.

Dieses Dokument beschreibt die allgemeinen Strategien zur Messung von luftgetragenen Partikeln einschließlich PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1 und UFP. Die verschiedenen verfügbaren Technologien der Geräte werden beschrieben und so verglichen, dass dem Anwender ermöglicht wird, das beste Verfahren für sein Überwachungsziel auswählen zu können. Probenahmeanforderungen werden gemeinsam mit Schlüsselfaktoren beschrieben, die vom Anwender berücksichtigt werden sollten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die allgemeinen Strategien zur Bestimmung der Konzentration von Schwebstoffen in Innenräumen fest und deckt den Größenbereich von etwa 1 nm bis 100 µm ab.

Darüber hinaus beschreibt dieses Dokument Verfahren zur Identifizierung typischer Partikelquellen in Innenräumen und bietet allgemeine Empfehlungen für repräsentative Probenahmen.

Die Hauptquellen von Innenraumpartikeln werden in diesem Dokument beschrieben, gemeinsam mit der Dynamik von Innenraumpartikeln. Verschiedene Messverfahren werden mit ihren Vorteilen, Nachteilen und Anwendungsbereichen beschrieben, und es werden einige allgemeine Probenahme-Empfehlungen gegeben. Die Messstrategien zur Bestimmung von luftgetragenen Partikeln in Innenräumen werden behandelt, einschließlich Referenzfallstudien mit spezifischeren Probenahme-Empfehlungen.

Weitere Dokumente der Normenreihe ISO 16000 werden sich auf die Partikelfraktion beziehen und spezielle Empfehlungen für ihre Messung enthalten.

Die Bestimmung der Messunsicherheit und die Mindestanforderungen an die Ausgabe sind ebenfalls Teil dieses Dokuments.

Dieses Dokument gilt nicht für die Bestimmung von Bio-Aerosolen oder die chemische Charakterisierung von Partikeln. Für die Messung und Beurteilung der Staubzusammensetzung wird auf den entsprechenden Teil in der Normenreihe ISO 16000 verwiesen.

Dieses Dokument gilt nicht für die Messung von Schwebstoffen in Fahrzeug-Fahrgasträumen und öffentlichen Verkehrsmitteln.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

ISO 16000-1:2004, *Indoor air — Part 1: General aspects of sampling strategy*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Partikel

kleine diskrete Masse aus Fest- oder Flüssigstoff

[QUELLE: ISO 29464:2017, 3.2.111]

3.2

Aerosol

Suspension in einem gasförmigen Medium aus festen *Partikeln* (3.1), flüssigen Partikeln oder festen und flüssigen Partikeln mit einer vernachlässigbaren Fallgeschwindigkeit

[QUELLE: ISO 23210:2009, 3.1.9]

3.3

äquivalenter Durchmesser

Durchmesser eines kugelförmigen *Partikels* (3.1) mit denselben geometrischen, optischen, elektrischen und aerodynamischen Eigenschaften wie das untersuchte Partikel

Anmerkung 1 zum Begriff: Je nach angewandtem Messverfahren könnten verschiedene Äquivalentdurchmesser für dasselbe Partikel definiert werden. Diese verschiedenen Durchmesser sind nur indirekt vergleichbar, da unterschiedliche Partikeleigenschaften gemessen werden, wie z. B. der geometrische Durchmesser, der Durchmesser gemäß der dielektrischen Beweglichkeit und der Durchmesser auf der Grundlage der Lichtstreuungseigenschaften. Dennoch wird oft der Oberbegriff „Partikeldurchmesser“ für alle verwendet.

[QUELLE: ISO 4225:1994, 3.35, geändert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde ergänzt.]

3.4

aerodynamischer Durchmesser

Durchmesser einer Kugel mit einer Dichte von 1 g cm^{-3} mit derselben Endgeschwindigkeit aufgrund von Gravitationskräften in ruhiger Luft wie das *Partikel* (3.1) unter den vorherrschenden Temperatur-, Druck- und relativen Luftfeuchtigkeitsbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der aerodynamische Durchmesser wird anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$D_a = D_p \sqrt{\frac{1}{\chi}} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_0}}$$

Dabei ist

D_a der aerodynamische Durchmesser;

D_p der Partikeldurchmesser;

ρ_p die Partikeldichte;

ρ_0 die Standarddichte;

χ der Formfaktor.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Formfaktor beschreibt, in welchem Maß die Widerstandskraft eines unregelmäßig geformten Partikels größer ist als bei einer Kugel mit demselben Volumen[26].

Anmerkung 3 zum Begriff: Der aerodynamische Durchmesser bestimmt die Sedimentierungs- und Trennungseigenschaften von Partikeln in Impaktoren. Dies ist auch für das Eindringverhalten und die Bindung der Partikel im menschlichen Körper von besonderer Bedeutung.

[QUELLE: ISO 7708:1995, 2.2, geändert — „Partikel“ wurde aus dem Begriff entfernt und Anmerkung 1 zum Begriff wurde durch Anmerkungen 1 bis 3 zum Begriff ersetzt.]

3.5**Feinstaub**

Fraktion luftgetragener *Partikel* (3.1) mit einem *aerodynamischen Durchmesser* (3.4) unter 10 µm

[QUELLE: EN 15445:2008, 3.5]

3.6**Grobmodus-Partikel**

Partikel (3.1) mit einem Durchmesser über 2,5 µm

Anmerkung 1 zum Begriff: Coarse-Mode-Partikel entstehen durch mechanischen Abrieb und das Aufwirbeln von Sediment und Bodengraß.

3.7**Feinmodus-Partikel**

Partikel (3.1) mit einem Durchmesser unter 2,5 µm

Anmerkung 1 zum Begriff: Feinmodus-Partikel werden hauptsächlich aus Gasen und weiterhin durch Nukleierung und Kondensation gebildet.

3.8**ultrafeine Partikel****UFP (en: ultrafine particle)**

Partikel (3.1) mit einem Durchmesser von 100 nm oder weniger

[QUELLE: ISO/TR 19601:2017, 3.34, geändert — die Definition wurde gekürzt und die Anmerkung 1 zum Begriff wurde gelöscht.]

3.9**Trenndurchmesser („cut-off“)**

aerodynamischer Durchmesser (3.4), ab dem eine Impaktorphase eine Trennungseffizienz von 50 % hat

[QUELLE: ISO 23210:2009, 3.1.2, geändert — die Definition wurde geändert von „bei dem die Impaktorstufe eine Abscheideeffizienz von 50 % besitzt“.]

3.10**PM_{2,5}**

Fraktion luftgetragener *Partikel* (3.1), die durch einen gröÙenselektiven Prüfkopf mit einer Trennungseffizienz von 50 % mit einem *aerodynamischen Durchmesser* (3.4) von 2,5 µm geht

[QUELLE: EN 12341:2014, 3.1.14]

3.11**PM₁₀**

Fraktion luftgetragener *Partikel* (3.1), die durch einen gröÙenselektiven Prüfkopf mit einer Trennungseffizienz von 50 % mit einem *aerodynamischen Durchmesser* (3.4) von 10 µm geht

[QUELLE: EN 12341:2014, 3.1.14]

3.12**Massenkonzentration**

c

Verhältnis der Masse *m* des gemessenen Elements zum Gasvolumen *V*, wie dargestellt durch:

$$c = \frac{m}{V}$$

[QUELLE: EN 15259:2007, 3.26]

3.13

Anzahlkonzentration

Anzahl der *Partikel* (3.1) je Volumenelement des Trägergases (Luft)

3.14

lungendeponierbare Oberflächenkonzentration

LSDA (en: lung-deposited surface area)

Oberflächenkonzentration von *Partikeln* (3.1) je Einheitsvolumen Luft, gewichtet mit der Ablagerungswahrscheinlichkeit in der Lunge

Anmerkung 1 zum Begriff: Wegen der Lungenablagerungseffizienz während des Einatmens wird nur ein Teil der Partikel effektiv in der menschlichen Lunge abgelagert. Die LSDA hängt daher stark von den möglichen Auswirkungen der Partikel auf die Gesundheit ab.

[QUELLE: Verweisung [22], geändert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde ergänzt.]

3.15

Partikelvolumenkonzentration

Gesamtvolumen aller verteilten *Partikel* (3.1) je Volumeneinheit des Trägergases

4 Ursprung, Eigenschaften und gesundheitliche Implikationen von luftgetragenen Partikeln

4.1 Ursprung und Eigenschaften

Luftgetragene feste und flüssige Partikel (z. B. in Form von Staub, Rauch, Sprühnebel und Nebel) sind seit jeher Bestandteil der Atmosphäre. Sie werden gemeinschaftlich als Aerosol bezeichnet. Natürliche Quellen, die zur Freisetzung primärer Partikel in der Luft beitragen, sind z. B. Ozeane, Wüsten, Pflanzen, Vulkanausbrüche, Erosionen und Feuer. Darüber hinaus führt atmosphärische Fotochemie einschließlich biogener flüchtiger organischer Verbindungen (bekannt als Vorläufergase wie etwa Isopren und Monoterpene) zur Generierung sekundärer Partikel. Besonders der Anteil primärer und sekundärer anthropogener Partikel am atmosphärischen Partikelspektrum steigt seit der industriellen Revolution an. Großen Mengen Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Schwefeldioxid, organischer und elementarer Kohlenstoff sowie weitere gasförmige und partikuläre Substanzen erreichen die Troposphäre durch industrielle Verfahren und die Verbrennung von fossilen Mineralölprodukten, Steinkohle, Braunkohle und Biomasse. Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) umfassen bestimmte Quellen hoher Konzentrationen anthropogener Partikel, Verbrennungsprozesse und fotochemische Reaktionen aus anthropogenen Vorläufergasen.[40] Abrieb und erneutes Aufströmen (z. B. aus dem Schüttguttransport, der Industrie, der Landwirtschaft und der Bauindustrie) können ebenfalls, insbesondere mit der Grobmodus-Fraktion, zur Feinstaubverschmutzung beitragen.

Die Wechselwirkung zwischen natürlichen und anthropogenen Aerosolen aus lokalen, regionalen und entfernten Quellen führen zu Umgebungsaerosol, in dem die Zusammensetzung erheblichen räumlichen und temporalen Schwankungen unterliegt. Umgebungsaerosol in Städten wird oftmals als städtisches Aerosol bezeichnet.

Umgebungsaerosol besteht aus verschiedenen Partikelgrößen, d. h. Ultrafein-, Fein- und Grobpartikeln. Die chemische Zusammensetzung kann je nach Quelle und Transportbedingungen erheblich variieren.[35] Erhöhte Konzentrationen werden in der Umgebung von Industrieanlagen gemessen. Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 50 nm bestehen im Wesentlichen aus organischen Verbindungen mit geringer Flüchtigkeit.

Das dynamische Verhalten von Aerosolen hängt immer von den Eigenschaften der Aerosolpartikel selbst und den Eigenschaften der Umgebung einschließlich potenzieller Senken ab. Dies ist ein dynamisches System, das konstanten Veränderungen durch verschiedene physikalische und chemische Prozesse unterliegt, die darüber hinaus charakteristisch für Fraktionen unterschiedlicher Größe im gesamten Aerosol sind. Nukleierung führt zu Partikeln mit Durchmessern von einigen Nanometern (Nukleierungsmodus). Kondensation und Koagulation führen zu weiteren Wachstumsprozessen (Akkumulationsmodus). Abrieb und erneutes Aufströmen erzeugen insbesondere Partikel im Grobmodus (siehe ISO 4225 und ISO 16000-37).

Luftgetragene Partikel sind daher ein Gemisch aus verschiedenen luftverunreinigenden Stoffen mit sehr unterschiedlicher Form, Größe, chemischer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften.

4.2 Gesundheitliche Auswirkungen

Aufgrund epidemiologischer Studien wird seit vielen Jahren angenommen, dass die Feinstaubverschmutzung der Umgebungsluft zu gesundheitlichen Problemen führen kann, ohne dass hierfür bisher relevante Schwellenwerte ermittelt wurden, siehe ISO 20988. Allgemein wird von einem linearen Dosis-Wirkungs-Verhältnis ausgegangen. Mit dem Inkrafttreten der EG-Luftqualitätsrichtlinie (1999/30/EG) im Jahr 2005 rückte dieses Thema in den Mittelpunkt der öffentlichen Aufmerksamkeit. Diese Richtlinie sieht Grenzwerte für den täglichen und jährlichen Mittelwert von PM_{10} in der Umgebungsluft vor. Für die $PM_{2,5}$ -Fraktion legt die Ergänzung dieser Richtlinie (2008/50/EG) einen Jahresmittelwert von $25 \mu g m^{-3}$ als Sollwert ab 2010 und Grenzwert ab 2015 fest, der ab 2020 auf $20 \mu g m^{-3}$ zu senken ist. Die PM_{10} -Grenzwerte bleiben in der Überarbeitung dieser Richtlinie aus 2008 unverändert (24-Stunden-Mittelwert: $50 \mu g m^{-3}$, der 35-mal pro Jahr überschritten werden darf, Jahresmittelwert: $40 \mu g m^{-3}$). Der in der EG-Luftqualitätsrichtlinie festgelegte Grenzwert für PM_{10} stellt im Hinblick auf die Art, das Niveau und die Messstrategie einen Grundsatz zur Begrenzung der Gesundheitsrisiken durch Feinstaub in der Umgebungsluft dar.

Die 2006 von der WHO weltweit vorgeschlagenen vorübergehenden Werte und Sollwerte für Feinstaub in der Umgebungsluft können im Prinzip auch auf Innenräume angewendet werden[40]. Dieser WHO-Vorschlag bezieht sich jedoch hauptsächlich auf durch Verbrennungsquellen emittierte Partikel. Hierbei handelt es sich größtenteils um Partikel, die zur Fraktion $PM_{2,5}$ gehören.

Epidemiologische Studien zeigen, dass hohe Feinstaubkonzentrationen in der Umgebungsluft mit gesundheitlichen Konsequenzen wie etwa Schädigungen des Herz-Kreislauf-Systems und der Atemwege sowie einer erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrate verbunden sind.[21] Eine zusammenfassende Analyse europäischer Zeitreihen- und Panel-Studien zur Auswirkung von Partikeln in der Umgebungsluft aus dem Jahr 2004 im Auftrag der WHO ergab ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko im Zusammenhang mit der Gesamtmortalitätsrate, d. h. die durch Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen in allen Altersgruppen verursachte Mortalität und die Zahl der Hospitalisierungen von älteren Patienten.[16] Aufgrund dessen wurden Grenzwerte für die Feinstaubkonzentration in der Umgebungsluft entwickelt. Im Gegensatz zu der Anzahl der Studien, die die Wirkung von Aerosolen in der Umgebungsluft auf die menschliche Gesundheit beschreiben, bestehen bisher nur wenige Studien zur Innenraumluft[23].

Für Feinstaub in Innenräumen empfiehlt die WHO, dass die Konzentrationen minimiert werden sollten. Eine Beurteilung der Auswirkungen auf die Gesundheit ist derzeit schwierig.

In Anbetracht dieser Aspekte können die folgenden Aussagen zu den gesundheitlichen Implikationen des Feinstaubes in der Innenraumluft getroffen werden.

- Weder die Partikelgrenzwerte der EG-Richtlinie 1999/30/EG noch die von der WHO[40] vorgeschlagenen Jahres- oder täglichen Mittelwerte für Partikel in der Umgebungsluft können zur Beurteilung der Innenraumluft herangezogen werden.

- In Abwesenheit spezifischer Innenraum-Staubquellen werden die Konzentrationen von $PM_{2,5}$ in Gebäuden hauptsächlich auf der Grundlage des Feinstaubs in der Umgebungsluft und durch Aufwirbelung bestimmt.[38] Es erscheint daher sinnvoll, den von der WHO abgeleiteten täglichen Mittelwert für $PM_{2,5}$ für Gebäude ohne spezielle Innenraumquellen als Richtwert zu verwenden.
- Für andere Innenräume wie Küchen, Keller, Räume, in denen handwerkliche Tätigkeiten und Hobbys ausgeführt werden, oder Gemeinschaftseinrichtungen (z. B. Büro, Schule, Einkaufszentren, Kliniken) mit speziellen Innenraumquellen (z. B. Verbrennungsquellen, Druckgeräte, chemische Produkte) kann der oben genannte Bewertungsstandard der WHO nicht sinnvoll erweitert werden.
- Das derzeitige Fehlen geeigneter Bewertungsstandards, die für alle Innenräume und Partikelgrößen gelten, bedeutet nicht, dass Feinstaub in der Innenraumluft als „nicht gesundheitsschädlich“ bewertet werden darf. Vorausgesetzt, dass keine gültige Bewertung in Form von Leit- oder Grenzwerten möglich ist, müssen aus Gründen der Vorsicht grundsätzliche Verfahren zur Verbesserung der Innenraum-Luftqualität implementiert werden. In vielen Fällen müssen auch geeignete Belüftungsverfahren zur Reduzierung des Feinstaubproblems beitragen.

Bei der Betrachtung der gesundheitlichen Auswirkungen von Innenraum-Partikelverschmutzung muss nicht nur die Partikelgröße, sondern auch die chemische Zusammensetzung und Morphologie berücksichtigt werden. Dieses Dokument behandelt die Bestimmung dieser Parameter nicht.

5 Quellen von Innenraumpartikeln und Partikeldynamik in Innenräumen

5.1 Allgemeines

Feinstaubkonzentrationen in Innenräumen können aus dauerhaften (z. B. Umgebungsluft, Heizung) oder intermittierenden Quellen (z. B. Kochen, Rauchen, brennende Kerzen, Drucker) stammen. Aufgrund der verschiedenen Standorte und Dynamiken dieser Quellen können Größe, Verteilung und Zusammensetzung von Innenraumpartikeln erheblich schwanken. Die nachfolgend erwähnten Prozesse sind von besonderer Bedeutung. Alle Prozesse gemeinsam induzieren und bestimmen die Dynamik des Innenraumpartikelspektrums[29] (siehe Bild 1).

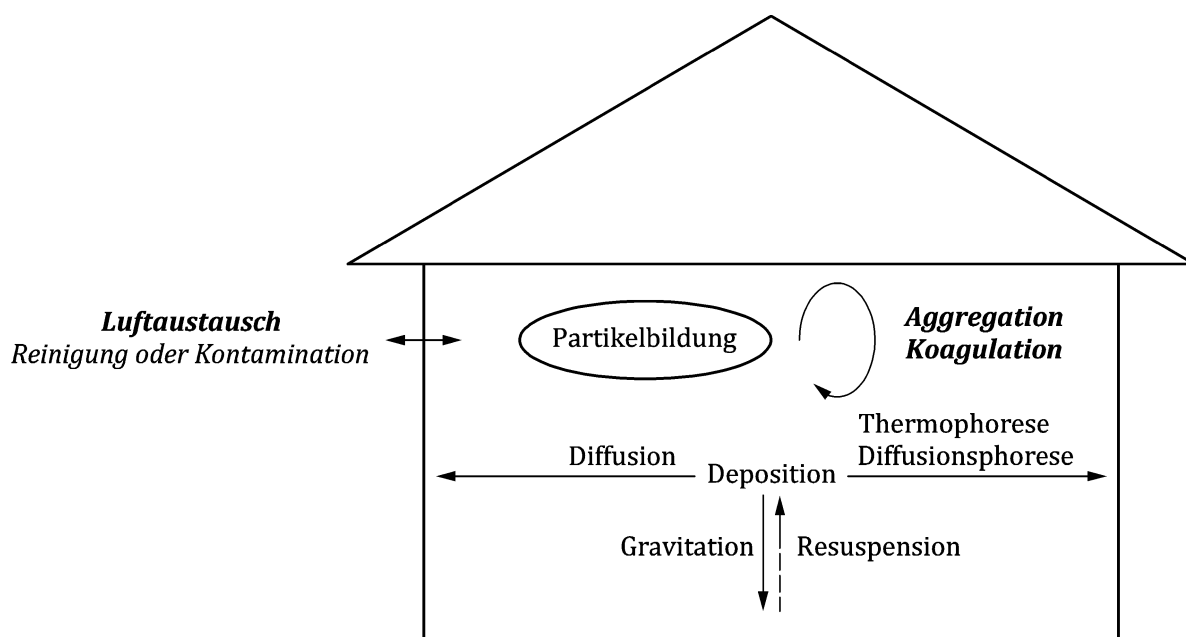


Bild 1 — Partikelbildung und -dynamik in Innenräumen

5.2 Quellen für Innenraumpartikel

5.2.1 Typische Innenraumquellen

Die Hauptpartikelquellen in Innenräumen sind die folgenden.

- Eindringen von Aerosolen aus Außenbereichen durch Fenster, Türen und die Gebäudehülle. Im Fall einer hohen Luftaustauschrate besteht eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit, dass Partikel aus der Umgebungsluft in das Gebäude eindringen. Diese Wahrscheinlichkeit nimmt mit Reduzierung der Luftaustauschrate ab.[30] Die Anwesenheit einer Klimaanlage und eines damit verbundenen Luftfiltersystems hat einen erheblichen Einfluss. Der Anteil von Umgebungsluft-Aerosolen in Innenräumen (selbst bei geschlossenen Fenstern) hängt von der Partikelgröße ab und ist bei Partikeln um 0,3 µm am höchsten. [23]
- Verbrennungsprozesse wie etwa Rauchen, brennende Kerzen, offenes Feuer, Kamine und Räucherstäbchen.
- Aktivitäten wie beispielsweise Kochen, Putzen, Hobbys, Heimwerken, Textilabrieb und Benutzung von Haushalts- und Bürogeräten.
- Menschen und Haustiere (Hautschuppen und Haarpartikel), Mikroorganismen (Schimmel, Bakterien, Zellfragmente usw.), Pollen und andere Allergene.
- Partikel-Neubildung durch physikalisch-chemische Reaktionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) wie z.B. Ozon-Terpen-Reaktion.
- Resuspension sedimentierter Partikel. Verschiedene Aktivitäten können zu einem Aufwirbeln der Partikel von Oberflächen im Raum führen.

5.2.2 Einfluss der Räumlichkeiten

Es gibt zahlreiche unterschiedliche Partikelquellen in Innenräumen. In genutzten Räumen werden Innenraum-Aerosole oftmals durch Innenraumquellen beeinflusst, die sich entweder in dem untersuchten Raum oder in benachbarten Räumen befinden können. In den Literaturhinweisen findet sich eine nicht erschöpfende Liste von Fallstudien, siehe Verweise [42] bis [77], die je nach beabsichtigtem Zweck eine gute Quelle der Inspiration für Benutzer sein können. Die nachfolgende Liste enthält ebenfalls einige typische Quellen, die in verschiedenen Arten von Räumen zu finden sind und erwogen werden sollten.

a) Typische Quellen in Wohnräumen:

- 1) Kochen, Heizen, Rauchen, Kerzen, Kamine und Duftölbrenner;
- 2) Körperpflege- und Reinigungsprodukte (z. B. Sprays);
- 3) Elektrogeräte (z. B. Kühlschränke, Staubsauger);
- 4) Menschen und Haustiere;
- 5) Abrieb von Textilien und Textil-Bodenbelägen.

b) Typische Quellen in Büroräumen:

- 1) Büromaschinen (z. B. Drucker, Kopierer, Computer);
- 2) Klimaanlage;
- 3) Menschen;
- 4) Externe Einflüsse (z. B. Rauchen, angrenzende Produktionsräume);
- 5) Abrieb von Textilien und Textil-Bodenbelägen.

c) Typische Quellen in Kindergärten und Schulen:

- 1) Menschliche und äußere Partikel, die mit der Kleidung hereingetragen werden (z. B. Tierhaare);
- 2) Aktivitäten (z. B. Kochen, künstlerische Aktivitäten, Handwerksarbeiten);
- 3) Elektrogeräte (z. B. Drucker, Kopierer, Computer);
- 4) Wohntextilien;
- 5) Klimaanlage, sofern vorhanden.

5.2.3 Von typischen Quellen erzeugte Partikelgrößenbereiche

Luftgetragene Partikel in Innenräumen umfassen einen breiten Größenbereich von wenigen Nanometern bis zu 100 µm. Die Partikelgröße wird erheblich durch den Ursprung des Partikels, aber auch durch die chemische und physikalische Reaktion nach der Entstehung beeinflusst. Bild 2 bietet eine nicht erschöpfende Liste typischer Innenraumquellen für luftgetragene Partikel mit den typischen Größenbereichen.

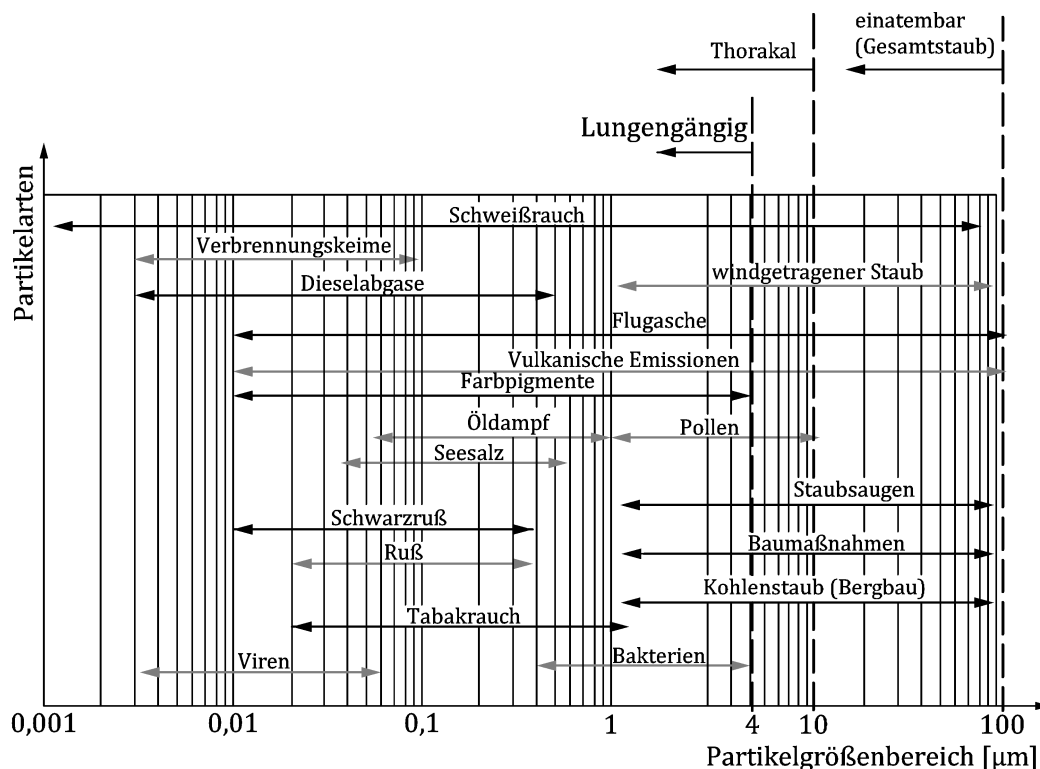


Bild 2 — Typische Quellen von luftgetragenen Partikeln und Größenbereiche

Die berechnete Konzentration hängt von zahlreichen Faktoren wie z. B. von der Intensität der Quelle, der Art, Eigenschaften, Intensität und Häufigkeit der Nutzung, dem Abstand zwischen der Quelle und dem Messgerät sowie den spezifischen Eigenschaften des Raums und hier insbesondere der Belüftungsrate ab. Daher ist es schwierig, empirische Bereiche möglicher Konzentrationswerte durch Innenraumluft-Messungen in Wohnräumen anzugeben. Schlussfolgerungen über Hygienrisiken in Verbindung mit den gemessenen Partikelzahlen zu ziehen, ist ebenfalls schwierig und sollte nur erfolgen, wenn alle Parameter berücksichtigt wurden. Es gibt mehrere Quellen, die bestimmte Aktivitäten oder bestimmte Untersuchungszwecke behandeln, und einige Beispiele finden sich in den Verweisungen [42] bis [77]. Die in diesen Studien gefundenen Werte können Fachleuten und/oder Messinstituten bei zukünftigen Feinstaubmessungen helfen, den effektiven Bereich des Messverfahrens richtig zu wählen.

5.3 Partikeldynamik in Innenräumen

5.3.1 Hauptsinken für Partikel

Partikel mit einem Durchmesser um $0,1\ \mu\text{m}$ weisen die geringsten Ablagerungsraten auf Innenraumbooberflächen auf, während kleinere und insbesondere größere Partikel signifikant größere Ablagerungsraten aufweisen. Dieser Prozess wird in hohem Maße beispielsweise von Luftbewegungen im Raum, den Möbeln und der Art der Oberflächen im Raum beeinflusst.[37] Es ist wichtig, zwischen den Prozessen der Sedimentation, der Impaktion und der Diffusion zu unterscheiden.[39] Diese Prozesse reduzieren die Anzahl, die Masse, das Volumen und die Oberflächenkonzentration.

Gebäudeplanung und -konstruktion sowie klimatische Bedingungen können die Konzentration der Partikel in der Innenraumluft durch ihre Ablagerung auf Oberflächen reduzieren (die Senkenwirkung). Die Ursache hierfür liegt in der dynamischen Aerosolprozessen wie Thermophorese, Elektrophorese[30], Diffusion, Dilution, Filtration, Koagulation, Ventilation, Ablagerung, Aufwirbelung und anderen[30].

5.3.2 Variationen des Partikelspektrums

Nach der Partikelemission aus der Quelle tritt eine physikalische und chemische Reaktion auf, die eine wesentliche Auswirkung auf die Partikelgröße hat. Die Ablagerung kleinerer Partikel auf der Oberfläche größerer Partikel und die Verschmelzung kleinerer Partikel zu größeren Partikeln (Koagulation) kann die Konzentrationszahl reduzieren ohne die Gesamt-Massenkonzentration zu verändern. Wenn solche Wachstumsprozesse Partikel über dem Grenzdurchmesser der gemessenen Massenfraktion produzieren (z. B. im Fall von $\text{PM}_{2,5}$, Partikel einer Größe über $2,5\ \mu\text{m}$), führt dies ebenfalls zu einer Reduzierung der Massenkonzentration dieser Fraktion. Die Anbindung von Verbindungen mit geringer Flüchtigkeit an Partikel ändert nicht die Anzahlkonzentration.

Darüber hinaus wird eine sekundäre Partikelbildung aus Vorläufergasen beobachtet. Daher wird das Partikelspektrum durch den Abstand zwischen der Quelle und dem Messort sowie durch die Anwesenheit anderer Quellen in dem Raum aufgrund der Kreuzreaktion zwischen den verschiedenen emittierten Stoffen beeinflusst.

5.3.3 Auswirkung von Klimaanlage

Klimaanlagen beeinflussen die Innenraum-Partikelkonzentration und -dynamik beispielsweise durch Luftkanäle, Filterung sowie Strömungs- und Austrittsgeschwindigkeit der Luft. Falsch installierte oder gewartete Systeme können die Partikelbelastung des Raums erhöhen.

5.3.4 Raumnutzungsbedingungen

Die Feinstaubbelastungen in Innenräumen, die größtenteils intermittierend und benutzerabhängig sind, können in zwei Gruppen unterteilt werden. Einerseits zählen hierzu konkret klassifizierbare Quellen, die aus der Nutzung einzelner Geräte oder Einrichtungsgegenstände resultieren. Andererseits gibt es diffuse Quellen, die von den Benutzern selbst ausgehen. Hierzu zählt üblicherweise Feinstaub, der von Menschen/Benutzern und ihrer Kleidung hereingetragen werden. Die Summe dieser Quellen bestimmt die zu einem gegebenen Zeitpunkt in der Luft gemessene Feinstaubkonzentration.

Die Quellen und ihre hochvariablen Einflüsse auf die Feinstaubkonzentration in der Innenraumluft ermöglichen keine konsistente Festlegung von Messbedingungen. Das Messverfahren sollte daher auf Grundlage der Aufgabe und Situation in jedem Einzelfall abgeleitet und begründet werden. Diese Begründung muss in dem Prüfbericht zusammen mit dem gewählten Messverfahren und den Probenahmebedingungen protokolliert werden (wie in ISO 16000-1:2004, Abschnitt 4 beschrieben). Andere Parameter, z. B. lüftungsbezogene, sollten berücksichtigt werden. Es kann kein Standardszenario definiert werden.

6 Messverfahren für luftgetragene Partikel in Innenräumen

6.1 Allgemeines

Für die Messung von luftgetragenen Partikeln in Innenräumen steht eine Vielzahl sich ergänzender Messverfahren zur Verfügung[22][23].

Anhand der verschiedenen Verfahren werden die folgenden gemessenen Variablen entweder als integrale oder größen aufgelöste Mengen bestimmt:

- Partikelmassenkonzentration;
- Partikelanzahlkonzentration;
- Partikeloberflächenkonzentration;
- lungendeponierbare Oberflächenkonzentration (LDSA) von Partikeln;
- Partikelvolumenkonzentration.

Diese Variablen werden entweder direkt gemessen oder auf der Grundlage der Messwerte berechnet. Im letzteren Fall (wenn beispielsweise die Oberflächenkonzentration aus der Anzahlkonzentration der verschiedenen Partikelgrößenfraktionen berechnet wird), muss geprüft werden, ob das Berechnungsverfahren für die vorgesehene Aufgabe plausibel ist.

ANMERKUNG Die Schätzung der Massenkonzentration aus der Zahlkonzentration ist nur möglich, wenn die räumliche Partikelgrößenverteilung und die Dichte der Partikel bekannt sind (siehe Abschnitt 7). Dasselbe gilt für Umwandlungen anderer Größen (Oberfläche, Volumen, usw.).

Partikel unter 1 µm Durchmesser können durch die Anzahl- oder Oberflächenkonzentration genauer als durch die Massenkonzentration charakterisiert werden. Partikel über 1 µm Durchmesser können in der Regel durch die Massenkonzentration charakterisiert werden, in einigen Fällen könnte jedoch auch die Anzahlkonzentration relevant sein.

Partikel können anhand unterschiedlicher physikalischer Grundsätze (z. B. optischer Durchmesser, aerodynamischer Durchmesser oder elektrische Mobilität der Partikel) in verschiedene Größenklassen unterteilt werden. Bei dem Vergleich von durch unterschiedliche Messverfahren erhaltenen Ergebnissen ist besondere Vorsicht geboten.

Um den vollen Größenbereich von Schwebstoffen zu erfassen, müssen in der Regel Instrumente kombiniert werden. Instrumente beruhen häufig auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien und ergeben daher unterschiedliche Äquivalentdurchmesser. Dies bedeutet, dass die Daten nicht notwendigerweise in einen gemeinsamen Größenbereich fallen.

6.2 Beschreibung etablierter Verfahren

6.2.1 Allgemeines

Bild 3 zeigt eine Übersicht der am häufigsten für Innenraummessungen verwendeten etablierten Verfahren und kann bei der Auswahl des am besten für die jeweilige Anwendung geeigneten Verfahrens helfen.

Diese Auswahl basiert auf der untersuchten Größe und auch auf dem Volumenstrom, der geforderten unteren Erkennungsgrenze und der Zeitauflösung.

ANMERKUNG Einzelpartikelmessungen sind genauer und eignen sich für die Messung bei geringer Konzentration, oder wenn eine schnelle Reaktionszeit erforderlich ist. Bei anderen Instrumenten werden Partikel zunächst akkumuliert werden, bevor sie erkannt werden können. Einige Messverfahren ermöglichen eine sehr zeitnahe Messung oder Messungen innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums (d.h. üblicherweise weniger als 1 s für ein LSAS, 5 min bis 10 min für ein DMAS). Andere Verfahren erfordern die Sammlung von Partikeln über einen langen Zeitraum, üblicherweise 24 h, und bieten daher nur Informationen zu einem langen Gesamtzeitraum. Verfahren, die eine Erfassung über einen langen Zeitraum erfordern, sind grundsätzlich weniger empfindlich und erfordern die Sammlung einer größeren Menge als andere Messverfahren.