

# DIN EN 16976:2024-09 (D)

## Außenluft - Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration des atmosphärischen Aerosols; Deutsche Fassung EN 16976:2024

---

| Inhalt  | Seite |
|---|-------|
| Europäisches Vorwort.....   | 9     |
| Einleitung .....  | 11    |
| 1 Anwendungsbereich.....  | 12    |
| 2 Normative Verweisungen .....  | 12    |
| 3 Begriffe .....  | 12    |
| 3.1 Aerosoleigenschaften.....   | 12    |
| 3.2 Geräteleistung .....  | 13    |
| 3.3 Volumenströme .....   | 13    |
| 4 Atmosphärisches Aerosol.....  | 14    |
| 5 Beschreibung des Verfahrens .....   | 14    |
| 5.1 Probenahme und Konditionierung.....   | 14    |
| 5.1.1 Probenahme.....   | 14    |
| 5.1.2 Trocknung .....   | 16    |
| 5.1.3 Verdünnung.....   | 16    |
| 5.2 Bestimmung der Anzahlkonzentration mit einem CPC.....                         | 17    |
| 5.2.1 Kondensationswachstum.....  | 17    |
| 5.2.2 Optische Detektion .....  | 19    |
| 6 CPC-Leistungskriterien und Prüfverfahren .....                                  | 19    |
| 6.1 Allgemeines .....   | 19    |
| 6.2 Allgemeine Anforderungen an den CPC .....                                     | 19    |
| 6.3 Prüfbedingungen.....  | 20    |
| 6.4 Leistungskenngrößen und Leistungskriterien.....                               | 21    |
| 6.5 Prüfverfahren .....   | 22    |
| 6.5.1 Kalibrierter Volumenstrom .....   | 22    |
| 6.5.2 Messbereich der Anzahlkonzentration .....                                   | 22    |
| 6.5.3 Nachweisgrenze für die Anzahlkonzentration .....                            | 22    |
| 6.5.4 Kalibrierfaktor .....   | 22    |
| 6.5.5 Gerätespezifische Bewertung der Linearität und Steigung der Kennlinie ..... | 22    |
| 6.5.6 Nachweisempfindlichkeitskurve bei kleiner Partikelgröße.....                | 23    |
| 6.5.7 Nachweisgrenze für die obere Partikelgröße .....                            | 23    |
| 6.5.8 Nullzählrate.....   | 23    |
| 6.5.9 Einstellzeit .....  | 24    |
| 6.5.10 Abhängigkeit des Volumenstroms von der Netzspannung.....                   | 24    |
| 6.5.11 Messunsicherheit der Kalibrierung von Temperatur- und Drucksensoren .....  | 24    |
| 6.5.12 Auswirkung von Fehlern der Netzspannung.....                               | 24    |
| 7 Leistungskriterien und Prüfverfahren für Probenahme und Konditionierung.....    | 24    |
| 7.1 Allgemeine Anforderungen.....   | 24    |
| 7.2 Leistungskenngrößen und Leistungskriterien.....                               | 25    |
| 7.3 Diffusionsverluste .....  | 25    |
| 7.4 Relative Luftfeuchte.....   | 25    |
| 7.5 Verdünnung.....   | 25    |
| 7.5.1 Verdünnungsfaktor .....   | 25    |
| 7.5.2 Allgemeine Kriterien für Verdünnungssysteme .....                           | 26    |
| 7.6 Primärer Probenahmevolumenstrom.....  | 26    |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 8      | Ablauf der Messung .....   | 27 |
| 8.1    | Messplanung .....  | 27 |
| 8.2    | Umgebungsbedingungen .....   | 27 |
| 8.3    | Erstinstallation .....   | 27 |
| 8.4    | Erstprüfungen vor Ort .....  | 27 |
| 8.5    | Datenverarbeitung und Berichterstattung.....   | 28 |
| 9      | Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Messunsicherheit.....   | 28 |
| 9.1    | Allgemeines.....   | 28 |
| 9.2    | Häufigkeit der Kalibrierungen, Überprüfungen und Wartungsmaßnahmen.....                                    | 28 |
| 9.2.1  | Allgemeines.....   | 28 |
| 9.2.2  | Vollständige Wartung des CPC.....  | 29 |
| 9.2.3  | Kalibrierung der Linearität .....  | 29 |
| 9.2.4  | Überprüfung der Nullzählrate .....   | 30 |
| 9.2.5  | Überprüfung der Anzahlkonzentration .....  | 30 |
| 9.2.6  | Überprüfung des tatsächlichen Volumenstroms .....  | 30 |
| 9.2.7  | Kalibrierung der Temperatur- und Drucksensoren.....  | 30 |
| 9.2.8  | Interne Diagnostik des CPC.....  | 30 |
| 9.2.9  | Wartung des Probenahmesystems.....   | 30 |
| 9.2.10 | Sensor für relative Luftfeuchte .....  | 31 |
| 9.2.11 | Verdünnungsfaktor (falls angewendet).....  | 31 |
| 9.2.12 | Dichtigkeitsprüfung .....  | 31 |
| 9.3    | Messunsicherheit .....   | 31 |
| 9.3.1  | Allgemeines.....   | 31 |
| 9.3.2  | Nachweisempfindlichkeit am CPC-Plateau .....   | 32 |
| 9.3.3  | Drift der CPC-Nachweisempfindlichkeit.....   | 32 |
| 9.3.4  | Volumenstrommessung .....  | 32 |
| 9.3.5  | Korrektur auf Normtemperatur und Normdruck.....  | 32 |
| 9.3.6  | Diffusionsverluste im Probenahmesystem.....  | 33 |
| 9.3.7  | Verdünnungsfaktor (sofern gegeben).....  | 33 |
| 9.3.8  | Berechnung der Gesamtunsicherheit.....   | 33 |
|        | Anhang A (normativ) Ermittlung der Diffusionsverluste in Probenahmeleitungen .....                         | 34 |
|        | Anhang B (informativ) Beispiel für die Berechnung der Diffusionsverluste in einem<br>Probenahmesystem..... | 37 |
| B.1    | Beschreibung des Probenahmesystems .....   | 37 |
| B.2    | Luftigenschaften und Diffusionskoeffizient .....   | 38 |
| B.3    | Verluste in der primären Probenahmeleitung.....  | 38 |
| B.4    | Verluste in der sekundären Probenahmeleitung und im Trockner .....   | 39 |
| B.5    | Gesamtverluste bei der Probenahme .....  | 39 |
|        | Anhang C (informativ) Berechnung der Unsicherheit (Beispiel) .....   | 41 |
| C.1    | Allgemeines.....   | 41 |
| C.2    | CPC-Nachweisempfindlichkeit am Plateau .....   | 41 |
| C.3    | Drift der CPC-Nachweisempfindlichkeit.....   | 41 |
| C.4    | Volumenstrommessung .....  | 41 |
| C.5    | Korrektur auf Normtemperatur und Normdruck.....  | 41 |
| C.6    | Probenahmeverluste aufgrund der Diffusion zu den Wänden.....   | 42 |
| C.7    | Verdünnungsfaktor (falls gegeben) .....  | 42 |
| C.8    | Berechnung der Gesamtunsicherheit.....   | 42 |
|        | Anhang D (informativ) Atmosphärische Aerosole .....  | 43 |
| D.1    | Allgemeines.....   | 43 |
| D.2    | Beispiele für Messungen .....  | 43 |
|        | Anhang E (informativ) Verdünnungssysteme .....   | 45 |
| E.1    | Hintergrund .....  | 45 |
| E.2    | Funktionsweisen von Verdünnungssystemen.....   | 45 |
| E.2.1  | Allgemeines.....   | 45 |
| E.2.2  | Verdünnungssystem mit Nebenstromfilter.....  | 45 |

|   |   |    |
|---|---|----|
| E.2.3   | Verdünnungssysteme mit externer Reinluftversorgung.....                       | 46 |
| E.3   | Beispiel eines Verdünnungssystems zur Trocknung des Primärvolumenstroms ..... | 47 |
| E.4   | Betriebsparameter eines Verdünnungssystems .....                              | 48 |
| E.5   | Beispiel zur Berechnung der Unsicherheit des Verdünnungsfaktors.....          | 51 |
| Anhang F (informativ) Laminare Strömung .....   |   | 53 |
| Anhang G (informativ) Koinzidenzkorrektur .....   |   | 54 |
| Anhang H (informativ) Ergebnisse des experimentellen Vergleichs verschiedener CPCs..... |   | 56 |
| Literaturhinweise .....   |   | 61 |

## Bilder

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Bild 1   | — Grundkonzept des Aerosoleinlasses .....   | 15 |
| Bild 2   | — Prinzip eines CPC mit kontinuierlichem Volumenstrom (vgl. ISO 27891:2015).....  | 19 |
| Bild B.1 | — Modell eines CPC-Probenahmesystems.....   | 38 |
| Bild D.1 | — Ländliches Gebiet mit Partikelneubildungsereignis .....   | 44 |
| Bild D.2 | — Verkehrsbezogene Messungen .....  | 44 |
| Bild E.1 | — Schematische Darstellung einer Verdünnungsschleife .....  | 46 |
| Bild E.2 | — Schematische Darstellung eines Verdünnungssystems mit externer<br>Reinluftversorgung .....  | 47 |
| Bild E.3 | — Beispiel eines Verdünnungssystems zur Aerosoltrocknung .....  | 48 |
| Bild E.4 | — Verdünnungsfaktor als Funktion der Aerosoltaupunkttemperatur .....  | 51 |
| Bild G.1 | — Gemessene Anzahlkonzentration mit Koinzidenzfehler .....  | 55 |
| Bild H.1 | — Vergleich der FCAEs.....  | 57 |
| Bild H.2 | — Auswirkung der Korrekturverfahren.....  | 57 |
| Bild H.3 | — Partikelanzahlkonzentrationssignale aller CPCs.....   | 58 |
| Bild H.4 | — Kurven der Nachweisempfindlichkeit vor und nach Koinzidenzkorrektur (links:<br>Impulsausgang; rechts: koinzidenzkorrigiert) ..... | 59 |
| Bild H.5 | — Kurven der Nachweisempfindlichkeit nach Anwendung des Kalibrierfaktors .....  | 60 |

## Tabellen

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabelle 1 | — Leistungskriterien eines CPC.....                               | 21 |
| Tabelle 2 | — Leistungskriterien für die Probenahmeeinrichtung.....           | 25 |
| Tabelle 3 | — Erstprüfungen vor Ort.....                                      | 27 |
| Tabelle 4 | — Kalibrierung, Überprüfungen, Wartung und deren Häufigkeit ..... | 29 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabelle 5 — Unsicherheitskomponenten und deren Ermittlung.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Tabelle B.1 — Penetration und Verluste in der sekundären Probenahmeleitung für<br/>verschiedene CPC-Volumenströme .....</b> | <b>39</b> |
| <b>Tabelle B.2 — Gesamtpenetration und Verluste für verschiedene CPC-Volumenströme.....</b>                                    | <b>40</b> |
| <b>Tabelle C.1 — Drift der Nachweisempfindlichkeit.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>Tabelle C.2 — Unsicherheitskomponenten .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>Tabelle E.1 — Sättigungsdampfdruck und absolute Feuchte als Funktion der Temperatur .....</b>                               | <b>49</b> |
| <b>Tabelle E.2 — Unsicherheitsberechnung nach ISO/IEC Guide 98-3:2008 für den<br/>Verdünnungsfaktor.....</b>                   | <b>52</b> |