

DIN/TS 67506



ICS 13.040.20

**Entkeimung von Raumluft mit UV-Strahlung –  
UV-C-Sekundärluftgeräte**

Disinfection of room air with UV radiation –  
UV-C secondary air units

Désinfection de l'air ambiant par rayonnement UV –  
Unités d'air secondaire UV-C

Gesamtumfang 76 Seiten

DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)

## Inhalt

|                                                                                                               | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort . . . . .                                                                                             | 5     |
| Einleitung . . . . .                                                                                          | 6     |
| 1 Anwendungsbereich . . . . .                                                                                 | 7     |
| 2 Normative Verweisungen . . . . .                                                                            | 8     |
| 3 Begriffe . . . . .                                                                                          | 9     |
| 4 UV-Quellen . . . . .                                                                                        | 15    |
| 5 Bauformen . . . . .                                                                                         | 15    |
| 6 Anforderungen an UV-C-Sekundärluftgeräte . . . . .                                                          | 16    |
| 6.1 Allgemeine Anforderungen . . . . .                                                                        | 16    |
| 6.2 Funktionsüberwachung . . . . .                                                                            | 16    |
| 6.3 Aufschriften und Anweisungen . . . . .                                                                    | 17    |
| 6.3.1 Aufschriften am Gerät (allgemein) . . . . .                                                             | 17    |
| 6.3.2 Aufschriften am Gerät (zusätzlich für Geräte mit Eignung UV-schutzbedürftige Personen)                  | 17    |
| 6.3.3 Anweisungen in Unterlagen (allgemein) . . . . .                                                         | 17    |
| 6.3.4 Anweisungen in Unterlagen (zusätzlich für Geräte mit Eignung UV-schutzbedürftige<br>Personen) . . . . . | 19    |
| 6.4 Aufbau . . . . .                                                                                          | 19    |
| 6.5 Vorfilterung . . . . .                                                                                    | 20    |
| 6.6 Betriebsdauer der UV-Quelle – Alterungsfaktor . . . . .                                                   | 20    |
| 7 Nachweis der Entkeimungswirksamkeit bei Einmalpassage . . . . .                                             | 21    |
| 7.1 Grundlagen . . . . .                                                                                      | 21    |
| 7.1.1 Luftvolumenstrom und Verweilzeit . . . . .                                                              | 21    |
| 7.2 Simulationsmethoden . . . . .                                                                             | 22    |
| 7.3 Sensorverfahren . . . . .                                                                                 | 23    |
| 7.3.1 Bestimmung des Betriebsfaktors (optional) . . . . .                                                     | 25    |
| 7.3.2 Bestrahlungsstärkemessung — Mehrpunktmethode . . . . .                                                  | 26    |
| 7.3.3 Bestimmung der Bestrahlungsstärke — validierte Simulationsmethoden . . . . .                            | 28    |
| 7.3.4 Bestimmung der Bestrahlungsstärke — Bestrahlungskammer-Modellierung . . . . .                           | 28    |
| 7.3.5 Ermittlung der Dosis bei Einmalpassage . . . . .                                                        | 30    |
| 7.3.6 Bestimmung der Dosis für Geräte mit UV-LEDs . . . . .                                                   | 31    |
| 7.4 Biodosimetrieverfahren . . . . .                                                                          | 31    |
| 7.4.1 Einlass-Auslassverfahren . . . . .                                                                      | 32    |
| 7.4.2 Raum-zu-Raum-Verfahren . . . . .                                                                        | 33    |
| 7.4.3 Randbedingungen für die Nachweisverfahren . . . . .                                                     | 35    |
| 7.4.4 Bestimmung der Dosis . . . . .                                                                          | 36    |
| 8 Nachweis der Wirksamkeit im Raum . . . . .                                                                  | 36    |
| 8.1 Allgemeines . . . . .                                                                                     | 36    |
| 8.2 Messtechnische Bestimmung des HADR-Werts . . . . .                                                        | 38    |
| 8.2.1 Beschreibung und Funktionsprinzip . . . . .                                                             | 38    |
| 8.3 Bestimmung der Randparameter . . . . .                                                                    | 39    |
| 8.4 HADR-Bestimmung in Anlehnung an ANSI AHAM AC-1:2020 . . . . .                                             | 40    |
| 8.4.1 Versuchsablauf . . . . .                                                                                | 41    |
| 8.4.2 Randbedingungen . . . . .                                                                               | 41    |
| 8.4.3 Vor- und Nachteile der Methode . . . . .                                                                | 42    |
| 8.5 Rechnerische HADR-Bestimmung mittels Sensormethode . . . . .                                              | 42    |
| 8.5.1 Vor- und Nachteile der Methode . . . . .                                                                | 42    |
| 8.6 Einordnung der HADR in Bezug auf die Wirkung . . . . .                                                    | 42    |
| 9 Auslegung der Geräte für die Nutzung im Raum . . . . .                                                      | 43    |
| 10 Restemission und deren Nachweis . . . . .                                                                  | 43    |
| 10.1 Allgemeines . . . . .                                                                                    | 43    |
| 10.2 Expositionsgrenzwerte . . . . .                                                                          | 43    |

|                   |                                                                                                    |    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 10.3              | Allgemeine Regelung . . . . .                                                                      | 44 |
| 10.4              | UV-schutzbedürftige Personen . . . . .                                                             | 45 |
| 10.5              | Regelung für UV-schutzbedürftige Personen . . . . .                                                | 46 |
| 10.6              | Anforderungen an die Prüfung . . . . .                                                             | 47 |
| 11                | Klassifizierung . . . . .                                                                          | 47 |
| Anhang A          | (informativ) Bezug zur Pandemie Sars-CoV-2 . . . . .                                               | 50 |
| Anhang B          | (informativ) Physikalische und biologische Wirkung von UV-Strahlung . . . . .                      | 51 |
| B.1               | Allgemeine Einleitung . . . . .                                                                    | 51 |
| B.2               | Wirkung auf Mikroorganismen . . . . .                                                              | 51 |
| B.2.1             | Allgemeines . . . . .                                                                              | 51 |
| B.2.2             | Luftgetragene Mikroorganismen in Bioaerosolen . . . . .                                            | 51 |
| B.2.3             | Wirksamkeit gegenüber Mikroorganismen . . . . .                                                    | 52 |
| B.2.4             | Reparatur von UV-Schäden und Mutagenese . . . . .                                                  | 55 |
| B.3               | Gefährdungspotential für den Menschen . . . . .                                                    | 56 |
| B.3.1             | Akute Wirkungen der UV-C-Strahlung . . . . .                                                       | 57 |
| B.3.2             | Chronische Wirkungen der UV-C-Strahlung . . . . .                                                  | 58 |
| B.4               | Auswirkungen auf Materialien im Hinblick auf die Verwendung im<br>UV-C-Sekundärluftgerät . . . . . | 58 |
| Anhang C          | (informativ) UV-Quellen . . . . .                                                                  | 60 |
| C.1               | Grundlagen . . . . .                                                                               | 60 |
| C.2               | Vergleich der Technologien . . . . .                                                               | 61 |
| Anhang D          | (informativ) Fallbeispiel zur UV-Simulation . . . . .                                              | 62 |
| D.1               | Fallbeispiel . . . . .                                                                             | 62 |
| D.2               | Grenzen der vereinfachten Betrachtung . . . . .                                                    | 62 |
| D.2.1             | Inhomogene Strahlungsverteilung . . . . .                                                          | 62 |
| D.2.2             | Keine Betrachtung der Röhrenkonfiguration . . . . .                                                | 63 |
| Anhang E          | (informativ) Andere Luftentkeimungsmethoden . . . . .                                              | 64 |
| E.1               | Andere Luftentkeimungsmethoden . . . . .                                                           | 64 |
| Anhang F          | (informativ) Abschätzung der Verweildauer der Luft in der Bestrahlungskammer . . . . .             | 65 |
| F.1               | Grundlagen . . . . .                                                                               | 65 |
| Anhang G          | (informativ) Materialalterung . . . . .                                                            | 69 |
| G.1               | Grundlagen der Materialalterung . . . . .                                                          | 69 |
| Anhang H          | (informativ) HADR-Bestimmung unter Realraumbedingungen . . . . .                                   | 70 |
| H.1               | HADR-Grundlagen . . . . .                                                                          | 70 |
| H.2               | Versuchsablauf . . . . .                                                                           | 71 |
| H.2.1             | Allgemeines . . . . .                                                                              | 71 |
| H.2.2             | Randbedingungen . . . . .                                                                          | 71 |
| H.2.3             | Vor- und Nachteile der Methode . . . . .                                                           | 72 |
| Literaturhinweise | . . . . .                                                                                          | 73 |

## Bilder

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1 | — Bauformen und Installationsmöglichkeiten von UV-C-Sekundärluftgeräten . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                    | 16 |
| Bild 2 | — Symbol 0790 nach DIN ISO 7000:2008-12 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 17 |
| Bild 3 | — Symbol 6040 nach IEC 60417 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 17 |
| Bild 4 | — Einbrennvorgang einer UV-C-Niederdrucklampe über der Zeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                | 26 |
| Bild 5 | — Schematische Darstellung der Messpunkte und Abstände zwischen den Messpunkten . . . . .                                                                                                                                                                                                                                            | 27 |
| Bild 6 | — Schematische Darstellung Einlass-Auslassverfahren . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                        | 33 |
| Bild 7 | — Schematische Darstellung Raum-zu-Raum-Verfahren . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                          | 34 |
| Bild 8 | — Beispielhafter Verlauf der Konzentrationen über der normierten Zeit in einem Raum<br>mit UV-Luftentkeimer. Der UV-Luftentkeimer wird bei $t \frac{V_G}{V_R} = 3$ eingeschaltet. Links:<br>Darstellung der Konzentration in linearer Darstellung, Rechts: Darstellung der<br>Konzentration in logarithmischer Darstellung . . . . . | 39 |
| Bild 9 | — Schematische Darstellung des Probenraumes. Oben: Seitenansicht mit Ventilator an der<br>Decke, Unten: Draufsicht (Ventilator nicht dargestellt) . . . . .                                                                                                                                                                          | 41 |

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild B.1 — UV-Absorptionsspektren von DNA und Protein (nach CIE 155:2003, Bild 3) . . . . .                                                                                                              | 53 |
| Bild B.2 — Wirkungsspektrum $A_{\text{mik}}(\lambda)$ für die Inaktivierung von <i>B. subtilis</i> -Sporen<br>(DIN 5031-10:2018-03, Bild 2 a)) . . . . .                                                 | 54 |
| Bild C.1 — Normalisierte Emissionsspektren von Quecksilber-Niederdruck-Lampen<br>(HG-ND-Lampen) und UV-LEDs mit nominaler Emission bei 275 nm . . . . .                                                  | 61 |
| Bild D.1 — UV-Simulationsbeispiel . . . . .                                                                                                                                                              | 62 |
| Bild D.2 — UV-Simulationsbeispiel: Bestrahlungsverteilung bei quadratischer<br>Bestrahlungskammer mit einer mittigen UV-Quelle in unterschiedlicher<br>Falschfarbenskalierung . . . . .                  | 63 |
| Bild F.1 — Messpunkte bei rechteckigem Messquerschnitt . . . . .                                                                                                                                         | 66 |
| Bild F.2 — Messpunkte bei kreisförmigen Querschnitt (Schwerelinienverfahren) . . . . .                                                                                                                   | 67 |
| Bild F.3 — Volumenstrommessung mit der Trichtermethode, links saugseitige Messung mit<br>Strömungs-Sonde (Punktsonde), rechts druckseitige Messung mit Flügelrad-<br>Anemometer (Flächensonde) . . . . . | 68 |
| Bild H.1 — Schematische Darstellung des Probenraumes unter Realraumbedingungen. Oben:<br>Seitenansicht. Unten: Draufsicht. . . . .                                                                       | 70 |

## Tabellen

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 — Typische Reflexionsgrade (diffus mit Glanzeinschluss), Quelle [Philips, 1992] . . . .                                                                                                                                                                            | 28 |
| Tabelle 2 — Weitere Reflexionsgrade (diffus mit Glanzeinschluss) für die Modellierung . . . . .                                                                                                                                                                              | 29 |
| Tabelle 3 — Zusammenhang zwischen Fluenz und der theoretischen Entkeimungseffizienz bei<br>einer modellhaften Referenz-Fluenz von $33 \text{ J/m}^2$ (D90) bei 254 nm . . . . .                                                                                              | 37 |
| Tabelle 4 — Zusammenhang zwischen Entkeimungseffizienz des Gerätes $\eta_G$ , Raumzyklen und<br>theoretisch erreichbarer Entkeimungsrate im Raum . . . . .                                                                                                                   | 40 |
| Tabelle 5 — Gewichtete Bestrahlungsstärke $E(\text{eff})$ in $\text{W/m}^2$ und entsprechende Bestrahlungszeit<br>$t$ zur Einhaltung des Expositionsgrenzwertes $30 \text{ J/m}^2$ nach ICNIRP 2004 . . . . .                                                                | 44 |
| Tabelle 6 — Entkeimungswirkung des UV-Luftentkeimers nach Einmalpassage . . . . .                                                                                                                                                                                            | 48 |
| Tabelle 7 — Anforderungen an die Typprüfung . . . . .                                                                                                                                                                                                                        | 48 |
| Tabelle 8 — Anforderung an Funktionsüberwachung . . . . .                                                                                                                                                                                                                    | 49 |
| Tabelle B.1 — Aufstellung der erforderlichen UV-Dosis, um 90 % der Mikroorganismen zu<br>inaktivieren ( $D_{90}$ , $\text{J/m}^2$ ), für eine Auswahl von luftgetragenen Mikroorganismen bei<br>Bestrahlung mit einer bei 254 nm emittierenden UV-Strahlungsquelle . . . . . | 55 |

## Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 058-00-07 AA „Optische Strahlung“ im DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL) erarbeitet.

Eine Technische Spezifikation ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens von DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Technische Spezifikationen sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

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.

Erfahrungen mit dieser Technischen Spezifikation sind erbeten:

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an [fnl@din.de](mailto:fnl@din.de) in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/stellungnahme](http://www.din.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Optische Strahlung, 10772 Berlin, (Hausanschrift: Burggrafestraße 6, 10787 Berlin).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Einleitung

Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich zwischen 100 nm und 400 nm wird allgemein als ultraviolette (UV) Strahlung bezeichnet. Insbesondere hat sich kurzwellige UV-Strahlung als entkeimend erwiesen, da sie viele Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Hefen und Pilzsporen) inaktiviert und das Wachstum solcher Populationen hemmt.

Diese entkeimende Wirkung wurde in der Vergangenheit in UV-Desinfektionsanwendungen technisch nutzbar gemacht. Stand der Technik ist derzeit u. a. die UV-Desinfektion von Oberflächen, die UV-Desinfektion von Luft in raumluftechnischen Anlagen, die UV-Desinfektion von Trinkwasser sowie von diversen Medizinprodukten und Lebensmitteln.

Durch die weltweite Corona-Pandemie rücken UV-C-Sekundärluftgeräte in den Fokus der Entwicklung und werden an Arbeitsplätzen, in Aufenthaltsräumen und in Privatwohnräumen zunehmend eingesetzt (siehe Anhang A).

In z. B. kleinen, schlecht oder nicht belüfteten Räumen oder in Räumen, in denen sich viele Personen aufhalten, kann eine Übertragung durch luftgetragene Mikroorganismen über eine größere Distanz als 1,5 m erfolgen. UV-C-Sekundärluftgeräte mit kurzwelliger UV-Strahlung können hier die Unterbindung der Infektionsübertragung durch luftgetragene Mikroorganismen unterstützen.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu betonen, dass die UV-C-Sekundärluftgeräte das Risiko einer Übertragung im Nahfeld, z. B. bei Kontakt von Angesicht zu Angesicht bei einem Personenabstand von < 1,5 m, nicht effektiv verringern und die Geräte auch keinen Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft haben.

Daher sind sie als eine weitere technologische Ergänzung zu anderen Hygienemaßnahmen wie Lüften, Abstand halten oder das Tragen von Masken anzusehen.

Dieses Dokument bietet einen Überblick über die allgemeinen Kenntnisse bezüglich der physikalischen und biologischen Grundlagen, die für die UV-Entkeimung von Sekundärluft nötig sind.

Es kann damit als Basis für die Konstruktion und als Entscheidungshilfe für den möglichen Einsatz von UV-C-Sekundärluftgeräten dienen und weist auf erforderliche Randbedingungen und Risiken für eine sinnvolle Anwendung hin.

In VDI-EE 2021 werden weitere Anforderungen und Prüfkriterien festgelegt. Diese beinhalten u. a. den Luftvolumenstrom, Geräuschentwicklung und Behaglichkeitsaspekte.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Wirkungsweise sowie den sicheren Aufbau und Betrieb von UV-C-Sekundärluftgeräten.

Es werden die empfohlenen Fluenzen für die Inaktivierung von Viren und Mikroorganismen angegeben. Aus diesen Bedingungen ergeben sich direkt Anforderungen an die Konstruktion von UV-C-Sekundärluftgeräten. Verfahren und Methoden für den Nachweis der Wirksamkeit der UV-Strahlung werden benannt.

In diesem Dokument wird der Fokus auf UV-C-Sekundärluftgeräte mit einer Hauptemission im Spektralbereich zwischen 240 nm und 300 nm gelegt.

Die beschriebenen Geräte sollen geeignet sein für die Anwendung während des Aufenthalts von Personen im Raum und sollen eine direkte Exposition von Personen mit UV-Strahlung vermeiden.

Bei kombinierten Geräten, die aus einer UV-Quelle und einer weiteren reinigenden oder entkeimenden Komponente bestehen, wird in diesem Dokument nur die UV-Luftentkeimung behandelt.

Der Zusatz von Wasser oder sonstigen Chemikalien wird in diesem Dokument nicht behandelt. Die daraus resultierenden Anforderungen an die Produktsicherheit und die Bildung von unerwünschten Neben-/Beiprodukten werden in diesem Dokument nicht behandelt.

Geräte, die für die Benutzung durch Fachkräfte und/oder unterwiesene Personen in Läden, in Kleinbetrieben oder in der Landwirtschaft bestimmt sind, und Geräte, die für die Benutzung durch Laien ausgewiesen sind, fallen in den Anwendungsbereich dieser DIN/TS.

Dieses Dokument behandelt nicht die UV-Entkeimung von Luft in raumlufttechnischen Anlagen und nicht die UV-Entkeimung von Oberflächen.

Diese DIN/TS beschreibt nachstehende Aspekte:

- Benennung der Wirkungsweise und erforderliche Strahlungsdosen für die Inaktivierung von Viren und Mikroorganismen;
- Auflistung der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen und Richtwerte zur Vermeidung austretender UV-Strahlung (Restemission);
- Angaben erforderlicher Maßnahmen zur Vermeidung von Ozonemission;
- Beschreibung möglicher Maßnahmen zur Prävention eines potentiellen Mutagenese-Risikos;
- Auflistung des Stands der Technik bezüglich Spezifikationen und Anforderungen sowie Formulierung von Empfehlungen für die Konstruktion, Auslegung der Komponenten und Anwendung von UV-C-Sekundärluftgeräten;
- Angaben zu einer erforderlichen Mindestbestrahlungsdosis bei einmaliger Passage durch die Bestrahlungskammer;
- Beschreibung eines biodosimetrischen Verfahrens zur Bestimmung der Wirksamkeit von UV-C-Sekundärluftgeräten;
- Beschreibung eines optischen Messverfahrens zur Bestimmung der Wirksamkeit von UV-C-Sekundärluftgeräten;
- Angaben zur Überwachung der UV-C-Sekundärluftgeräte;
- Angabe der Wirksamkeit der UV-C-Sekundärluftgeräte im Raum;

- Angaben zu Messverfahren zur Ermittlung des Luftvolumenstroms, der Strömungsgeschwindigkeit bzw. der Luftverweilzeit an UV-C-Sekundärluftgeräten;
- Mindestinhalte in Anleitungen zu sachgerechter Bedienung und Wartung, sowie zu erwartenden Lebensdauern und Wartungsintervallen;
- Kennzeichnungsangaben an Geräten und erforderliche Hinweise in Montage-, Wartungs- und Bedienungsanleitung.

Diese DIN/TS ist nicht anwendbar für:

- Primärluftgeräte (UV-C-Systeme in Luftleitungen von fest installierten raumlufttechnischen Anlagen);
- Geräte für die Oberflächendesinfektion;
- freistrahkende UV-C-Systeme zur Bestrahlung des oberen Luftbereichs eines Raumes („upper air“);
- handgehaltene UV-C-Einrichtungen zur Desinfektion in Innenräumen (Oberflächendesinfektion);
- Geräte, die für eine direkte UV-Emission in den Raum vorgesehen sind;
- Geräte mit ozonerzeugenden Lampen;
- UV-C-Geräte, die zur Flüssigkeitsdesinfektion verwendet werden;
- Geräte für medizinische Anwendungen;
- Geräte mit kohärenten optischen Strahlungsquellen (Lasern);
- Geräte, die zur Verwendung an Orten vorgesehen sind, an denen besondere Bedingungen herrschen, wie z. B. das Vorhandensein einer stark staubhaltigen, korrosiven oder explosiven Atmosphäre (Staub, Dampf oder Gas);
- Geräte zur Raumlufthereinigung (deren Wirkung primär auf einer Filterung basiert);
- photokatalytisch wirkende Geräte;
- oxidativ wirkende Geräte;
- Geräte mit atmosphärischen Plasmen;
- Geräte mit thermischer Luftbehandlung;
- Geräte mit sonstigen luftanreichernden Verfahren.

**ANMERKUNG** Es wird darauf hingewiesen, dass für Geräte, die zur Verwendung in Fahrzeugen oder an Bord von Schiffen oder Flugzeugen bestimmt sind, zusätzliche Anforderungen notwendig sein können.

## **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).

ANSI/AHAM AC-1 (Portable Electric Room Air Cleaners) Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners — ANSI/AHAM AC-1

CIE S 017:2020 ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd edition<sup>1</sup>

DIN EN 12599:2013-01, *Lüftung von Gebäuden — Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlufttechnischer Anlagen; Deutsche Fassung EN 12599:2012*

DIN EN 61010-1, *Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte — Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61010-1)*

DIN EN 60335-1 (VDE 0700-1):2020-08, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60335-1:2010, modifiziert + COR1:2010 + COR2:2011 + A1:2013, modifiziert + A1:2013/COR1:2014 + A2:2016 + A2:2016/COR1:2016); Deutsche Fassung EN 60335-1:2012 + AC:2014 + A11:2014 + A13:2017 + A1:2019 + A2:2019 + A14:2019*

DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-03, *Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008*

DIN EN IEC/IEEE 82079-1 (VDE 0039-1), *Erstellung von Nutzungsinformationen (Gebrauchsanleitungen) für Produkte — Teil 1: Grundsätze und allgemeine Anforderungen (IEC 82079-1:2019); Deutsche Fassung EN IEC/IEEE 82079-1:2020*

DIN EN ISO 3740, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen — Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen (ISO 3740)*

DIN EN ISO 5801:2018-04, *Ventilatoren — Leistungsmessung auf genormten Prüfständen (ISO 5801:2017)*

DIN EN ISO 7730:2006-05, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)*

DIN ISO 7000:2008-12, *Graphische Symbole auf Einrichtungen — Index und Übersicht (ISO 7000:2004 + ISO 7000 Datenbank:2008 bis ISO 7000-2750)*

DIN ISO 16000-36, *Innenraumluchtverunreinigungen — Teil 36: Prüfkammer-Verfahren zur Bestimmung der Minderungsrate luftgetragener, kultivierbarer Bakterien durch Luftreiniger mit einer Prüfkammer (ISO 16000-36)*

IEC 60335-1:2020 (Edition 6), *Household and similar electrical appliances — Safety — Part 1: General requirements*

IEC 60335-2-65 (Edition 2.2), *Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-65: Particular requirements for air-cleaning appliances*

IEC 60417, *Graphische Symbole für Betriebsmittel*

ISO 3966, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity area method using Pitot static tubes*

ISO 15714:2019, *Method of evaluating the UV dose to airborne microorganisms transiting in-duct ultraviolet germicidal irradiation devices*

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach CIE S 017:2020 und die folgenden Begriffe.

---

<sup>1</sup> verfügbar unter <https://cie.co.at/e-ilv>

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

— DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>

— DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

### 3.1

#### **Mikroorganismus**

Einheit von mikroskopischer Größe, die Viren, Bakterien, Hefen und Pilzsporen umfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Anwendungsspezifisch wird auch der Begriff „Keim“ verwendet.

### 3.2

#### **Entkeimung**

Verfahren zur Inaktivierung von Mikroorganismen einschließlich ihrer Ruhestadien (z. B. Sporen)

Anmerkung 1 zum Begriff: Allgemein wird auch für die Behandlung von Wasser, Luft oder Oberflächen mit dem Ziel der Reduzierung von Krankheitserregern der Begriff „Desinfektion“ verwendet.

### 3.3

#### **Ultraviolette Strahlung**

##### **UV-Strahlung**

elektromagnetische Strahlung im Spektralbereich von etwa 100 nm bis 400 nm

Anmerkung 1 zum Begriff: UV-Strahlung wird allgemein in folgende Wellenlängenbereiche unterteilt:

Name Wellenlänge

UV-C 100 nm bis 280 nm

UV-B 280 nm bis 315 nm

UV-A 315 nm bis 400 nm

Anmerkung 2 zum Begriff: Der im Sinne dieses Dokumentes für die Wirkung der UV-Entkeimung maßgebliche Wellenlängenbereich liegt zwischen 240 nm und 300 nm.

### 3.4

#### **UV-C-Sekundärluftgerät**

##### **UV-Luftentkeimer**

Produkt, das zur Inaktivierung von luftgetragenen Mikroorganismen mittels mikrobizider ultravioletter Strahlung den durchströmenden Luftstrom bestrahlt

### 3.5

#### **Bestrahlungskammer**

von Luft durchströmter Teil des *UV-C-Sekundärluftgerätes* (3.4), in dem die Entkeimung stattfindet

### 3.6

#### **Sekundärluftstrom**

Luftstrom, der einem Raum entnommen und nach Behandlung demselben Raum wieder zugeführt wird

### 3.7

#### **spektrale Bestrahlungsstärke**

$E(\lambda)$

Quotient aus der auf eine Fläche auftreffenden Strahlungsleistung und dem Flächeninhalt dieser Fläche für eine Wellenlänge, angegeben in  $W/(m^2 \cdot nm)$

### 3.8

#### sphärische Bestrahlungsstärke Fluenzrate

$E_o$

Mittelwert der Bestrahlungsstärke auf der äußeren gekrümmten Oberfläche einer sehr kleinen (realen oder imaginären) Kugel an einem Punkt im Raum, angegeben in  $W/m^2$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die sphärische Bestrahlungsstärke ist der Quotient aus dem Strahlungsfluss der gesamten auf die Außenfläche einer infinitesimal kleinen, im angegebenen Punkt zentrierten Kugel einfallenden Strahlung und der Fläche des diametralen Querschnitts dieser Kugel.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die sphärische Bestrahlungsstärke ist die geeignete Größe zur Beschreibung der Bestrahlung von Mikroorganismen in Luftentkeimungsgeräten.

### 3.9

#### photobiologische Wirkungsfunktion photobiologisches Wirkungsspektrum

$A_{\text{biol}}(\lambda)$

relative spektrale Empfindlichkeit eines betrachteten photobiologischen Vorganges, dessen Werte als spektrale Wirkungsfaktoren bezeichnet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die normierte Wirkungsfunktion ist die spektrale Abhängigkeit des Kehrwerts der Dosis monochromatischer Strahlung, die erforderlich ist, um eine bestimmte (biologische) Reaktion hervorzurufen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Wirkungsfunktion wird üblicherweise auf einen Wert von 1 bei der Wellenlänge der „maximalen Wirkung“ normiert, d. h. dort, wo die kleinste Dosis ausreicht, um die gewünschte Wirkung hervorzurufen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Unterschiedliche photobiologische Wirkungsfunktionen können durch den Index gekennzeichnet werden. Diese sind im Wesentlichen in DIN 5031-10 definiert. So steht zum Beispiel der Index „mik“ oder „mic“ für die mikrobizide Wirkungsfunktion basierend auf der Inaktivierung von *B. subtilis*-Sporen wie sie in der Trinkwasserentkeimung zum Einsatz kommt.

Anmerkung 4 zum Begriff: In internationalen Normen und in der ICNIRP-Empfehlung [ICNIRP:2004] (ICNIRP – International Commission on non-ionizing radiation protection, en: Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung) wird für die Wirkungsfunktion „Schädigung durch UV-Strahlung“ das Symbol  $S(\lambda)$  verwendet. Der entsprechende Index für die biologische Wirkung entsprechend obiger Nomenklatur ist „uvh“ (UV hazard).

### 3.10

#### photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke

$E_{\text{biol}}$

mit einer photobiologischen Wirkungsfunktion  $A_{\text{biol}}(\lambda)$  gewichtete und integrierte spektrale Bestrahlungsstärke, in  $W/m^2$ , nach folgender Gleichung (1)

$$E_{\text{biol}} = \int E_{\lambda}(\lambda) A_{\text{biol}}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

**3.11****Bestrahlung****Bestrahlungsdosis** $H$ 

Quotient der Strahlungsenergie  $dQ$ , die auf ein Element einer Oberfläche einfällt, durch die Fläche  $dA$  dieses Elements, angegeben in  $\text{J}/\text{m}^2$

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine äquivalente Definition ist das Zeitintegral der Bestrahlungsstärke  $E$ , am gegebenen Punkt, über die Dauer  $\Delta t$  (siehe Gleichung (2))

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int_{\Delta t} E \cdot dt \quad (2)$$

Dabei ist

$H$  die Bestrahlung in  $\text{J}/\text{m}^2$ ;

$dQ$  die einfallende Strahlungsenergie;

$dA$  das Flächenelement;

$E$  die Bestrahlungsstärke in  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$dt$  die Zeit der Bestrahlung in s.

$\Delta t$  Messintervall

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Bestrahlungsdosis  $H$  (siehe Gleichung (2)) beschreibt aus technischen Gründen in der Regel die Strahlungsenergie, welche von einer Seite auf ein Element einer Oberfläche einfällt. Sie unterscheidet sich in diesem Punkt dann maßgeblich von der Fluenz, die definitionsgemäß einen sphärischen Einfall auf ein kugelförmiges Flächenelement betrachtet.

**3.12****sphärische Bestrahlungsdosis****Fluenz** $H_0$ 

Integral der sphärischen Bestrahlungsstärke über die Dauer des Bestrahlungsvorganges, angegeben in  $\text{J}/\text{m}^2$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die sphärische Bestrahlungsdosis ist der Quotient aus der Strahlungsenergie aller auf die Außenfläche einer infinitesimal kleinen, im angegebenen Punkt zentrierten Kugel einfallenden Strahlung und der Fläche des diametralen Querschnitts dieser Kugel.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sie ist die geeignete radiometrische Größe zur Beschreibung der Bestrahlung von luftgetragenen Mikroorganismen.

**3.13****letale Dosis** $H_{LD,biol}$ 

Dosis, die erforderlich ist, um einen definierten Prozentsatz (%) einer Population gleichartiger Mikroorganismen zu inaktivieren, angegeben in  $\text{J}/\text{m}^2$

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach [Masschelein, 2002] lässt sich die Inaktivierungskinetik der UV-Desinfektion allgemein in akzeptabler Näherung durch folgende Gleichung (3) beschreiben:

$$\ln(N/N_0) = -k_{biol} \cdot H_{LD,biol} \quad (3)$$

Dabei ist

$N_0$  die Ausgangszahl der aktiven Mikroorganismen;

$N$  die Anzahl der aktiven Mikroorganismen nach Bestrahlung;

$k_{\text{biol}}$  die Empfindlichkeit des Mikroorganismus gegenüber UV-Strahlung in  $\text{m}^2/\text{J}$ ;

$H_{\text{LD,biol}}$  die letale Dosis.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die letale Dosis wird häufig für eine Referenzwellenlänge von 254 nm angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Unterschiedliche Mikroorganismen können durch den Index „biol“ gekennzeichnet werden. Für jede Art von Mikroorganismus existieren spezifische letale Dosen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Als Standard dient die D90, also die Dosis, bei der 90% einer Population inaktiviert werden.

Anmerkung 5 zum Begriff: Bei bekannter D90-Dosis (10 % verbleibende Mikroorganismen) lässt sich die Empfindlichkeit des Mikroorganismus  $k_{\text{biol}}$  nach folgender Gleichung (4) berechnen aus

$$k_{\text{biol}} = \frac{-\ln(N/N_0)}{H_{\text{LD,biol}}} = \frac{-\ln(0,1)}{H_{\text{LD90}}} \quad (4)$$

Daraus lässt sich auch ableiten, dass bei einer Verdoppelung der angewendeten Dosis der Anteil der verbleibenden aktiven Mikroorganismen um den Faktor 10 reduziert wird. Verdoppelt man die Dosis, die für eine 90%ige Inaktivierung aller Mikroorganismen benötigt wird, erhält man folglich eine 99%ige Inaktivierung.

### 3.14

#### Entkeimungseffizienz

$\eta_{\text{biol}}$

Grad der Inaktivierung gleichartiger Mikroorganismen, die durch eine applizierte Fluenz erreicht wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Entkeimungseffizienz kann nur Werte zwischen 0 und 1 bzw. 0 und 100 % annehmen.

Für sie gilt:

$$\eta_{\text{biol}} = 1 - N/N_0 \quad (5)$$

Dabei ist

$N_0$  die Ausgangszahl der aktiven Mikroorganismen;

$N$  die Anzahl der aktiven Mikroorganismen nach Bestrahlung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Unterschiedliche Mikroorganismen können durch den Index gekennzeichnet werden. Für jede Art von Mikroorganismus lässt sich die Entkeimungseffizienz aus der applizierten Fluenz  $H_o$  und der für den Mikroorganismus erforderlichen letalen Dosis  $H_{\text{LD90}}$  für eine Inaktivierung von 90 % wie folgt ermitteln:

$$\eta_{\text{biol}} = 0,9 \times \frac{1 - e^{-k_{\text{biol}} \cdot H_o}}{1 - e^{-k_{\text{biol}} \cdot H_{\text{LD90}}}} \quad (6)$$

Anmerkung 3 zum Begriff: Diese Größe gilt strenggenommen nur für die Einmalpassage durch ein Gerät, da bei der (unkontrollierten) Mehrfachpassage die akkumulierte Fluenz nicht ermittelt werden kann.

### 3.15

#### reduktionsäquivalente Fluenz

$H_{\text{REF}}$

$H_{\text{REF,o}}$

mit einem *UV-C-Sekundärluftgerät* (3.4) unter definierten Betriebsbedingungen erzielte, biodosimetrisch ermittelte Fluenz, angegeben in  $\text{J}/\text{m}^2$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die reduktionsäquivalente Fluenz wird häufig für eine Referenzwellenlänge von 254 nm angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die reduktionsäquivalente Fluenz wird in einem biodosimetrischen Verfahren mit einem Referenzmikroorganismus ermittelt, ist jedoch durch entsprechende Kalibrierung nicht auf diesen Mikroorganismus begrenzt. Siehe auch ISO 15714.

### 3.16

#### **Biodosimetrie**

experimentelles Verfahren zur Bestimmung der Wirksamkeit der Entkeimung von *UV-C-Sekundärluftgeräten* (3.4) unter Verwendung von (Referenz-)Mikroorganismen mit bekannter UV-Empfindlichkeit

### 3.17

#### **Radiometer**

Gerät zur Messung der Bestrahlungsstärke in  $\text{W}/\text{m}^2$ , entweder nach einem Spektralverfahren oder einem Integralverfahren

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Messung der mikrobizid wirksamen Bestrahlungsstärke unterscheidet man zwischen Breitbandradiometern, deren spektrale Empfindlichkeit an das betreffende Wirkungsspektrum angepasst ist, oder Spektralradiometern, mit denen die spektrale Bestrahlungsstärke wellenlängenabhängig erfasst wird und anschließend rechnerisch mit der betreffenden Wirkungsfunktion gewichtet wird.

### 3.18

#### **UV-Quelle**

Strahlungsquelle, die UV-Strahlung abgibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Bereich der UV-Luftentkeimung handelt es sich in der Regel um Quecksilberdampflampen (Hg-Gasentladungslampen), in denen eine Gasentladung die UV-Strahlung erzeugt. Zur Anwendung kommen in der Regel Hg-Niederdruckstrahler, deren 253,7 nm Spektrallinie hauptsächlich zur Entkeimung beiträgt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Mittlerweile kommen zunehmend Lumineszenz-Dioden (UV-LED) zum Einsatz, deren spektrales Maximum der Emission auf den Spektralbereich hoher mikrobizider Wirkung hin optimiert werden kann.

### 3.19

#### **Photoreaktivierung**

Reparaturmechanismus für DNA-Schäden durch das Enzym Photolyase unter Absorption von Photonen im Spektralbereich zwischen 300 nm und 500 nm.

Anmerkung 1 zum Begriff: Durch Photoreaktivierung kann die Effizienz der UV-Bestrahlung reduziert werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Photolyasen wurden in Prokaryoten, Eukaryoten sowie Archaeen gefunden. In höheren Säugetieren, einschließlich des Menschen, fehlen funktionsfähige Varianten dieser Proteine.

### 3.20

#### **Mutagenese**

Erzeugung von Mutationen in der primären genetischen Information von Lebewesen

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Zusammenhang mit diesem Dokument wird als Mutagenese die Erhöhung der spontanen Mutationsrate im Erbgut durch äußere Einflüsse, hier insbesondere UV-Strahlung, bezeichnet (siehe hierzu B.2.4).

### 3.21

#### **UV-schutzbedürftige Personen**

schutzbedürftige Personen in Bezug auf UV-Strahlung, d. h. Kinder und photosensible Personen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Expositionslimit von  $30 \text{ J}/\text{m}^2$  (gemäß der Richtlinie 2006/25/EG) ist nur auf den gesunden erwachsenen Durchschnittsmenschen bezogen und nicht ohne weiteres auf schutzbedürftige Personen übertragbar (nähere Ausführungen hierzu siehe 10.4).

### 3.22

#### Nominalvolumenstrom

angegebener Volumenstrom, zu dem weitere technische Parameter vom Hersteller angegeben werden

## 4 UV-Quellen

Da die keimtötende Wirkung eine Funktion der Dosis ist, ist eine effiziente Entkeimung entweder mit hoher Bestrahlungsstärke für kurze Zeit oder mit einer langen Verweildauer in der Bestrahlungskammer bei niedriger Bestrahlungsstärke möglich. Je nach Technologie, Bauform der Bestrahlungskammer und Anzahl der UV-Quellen können unterschiedliche Bestrahlungsstärken erreicht werden.

Keimtötende UV-Strahlung für die Anwendung in UV-C-Sekundärluftgeräten kann unter anderem durch folgende Technologien erzeugt werden:

- a) Niederdruck-Quecksilberdampflampen;
- b) UV-Strahlung emittierende LED.

Da mehrere Technologien zur UV-Erzeugung eingesetzt werden können, unterscheidet sich der Mechanismus zur Generierung der UV-Strahlung, die Wirkung auf Mikroorganismen und die Lebensdauer erheblich. Dies führt neben weiteren ökonomischen Punkten dazu, dass der Markt bei UV-C-Sekundärluftgeräten von ND-Quecksilberstrahlern dominiert wird, zunehmend werden auch UV-LEDs eingesetzt.

Eine Technologiebeschreibung ist in Anhang C enthalten. Die physikalische und biologische Wirkung von UV-Strahlung ist in Anhang B beschrieben.

Sehr kurzwellige UV-Strahlung im Spektralbereich unter 240 nm und vor allem unter 200 nm kann die Bildung von Ozon durch Photodissoziation von Sauerstoff bewirken. Ozon ist gesundheitsschädlich und kann bereits in geringen Konzentrationen zu gesundheitlichen Beschwerden wie verminderter Lungenfunktion, Entzündungen in den Atemwegen und Atemwegsbeschwerden führen. Bei körperlicher Anstrengung, also bei erhöhtem Atemvolumen, können sich diese Auswirkungen verstärken.

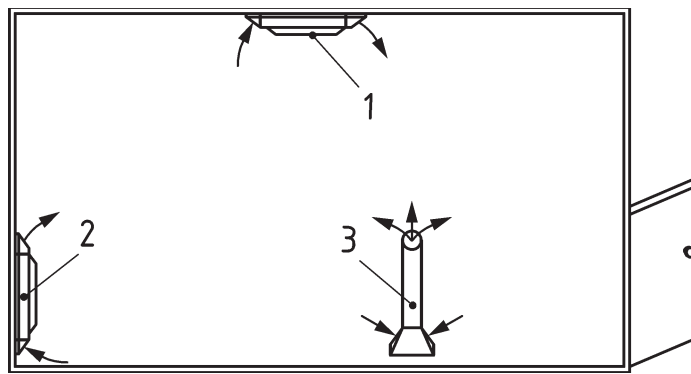
Die Verwendung von ozonfreien Lampen und Strahlungsquellen wird in diesem Dokument vorausgesetzt, um Ozonbildung zu vermeiden.

## 5 Bauformen

Als Bauformen bieten sich mobile Geräte, Wandgeräte oder (eingebaute) Deckengeräte an. All diese Geräte entnehmen Luft aus dem Raum und geben diese wieder in den gleichen Raum ab (Sekundärluftgeräte). Die Geräte können aus einem Gehäuse und einer separaten UV-Einheit bestehen, die mit einem Ventilator, UV-Schutz (Lichtfalle) und Filtern kombiniert sein können.

Die Auslegung der Bestrahlungskammer ist dem Hersteller überlassen. Die Bestrahlungskammer hat einen Einlass und einen Auslass und besitzt bevorzugt keine Undichtigkeit auf dem Weg vom Einlass zum Auslass. UV-Luftentkeimer mit mehreren Ein- und Auslässen sind zulässig.

Das Bild 1 enthält eine Übersicht über einige Bauformen.



### Legende

- 1 Deckengeräte
- 2 Wandgeräte
- 3 mobile Geräte

**Bild 1 — Bauformen und Installationsmöglichkeiten von UV-C-Sekundärluftgeräten**

Mobile Geräte sind zwar am flexibelsten, benötigen aber z. T. zusätzliche Sicherheitsanforderungen an die Bauform, z. B. in Hinblick auf ein Umfallen der Geräte und zugängliche Bereiche.

Bei Deckengeräten handelt es sich um Geräte, die in der Decke integriert oder abgehängt werden.

## 6 Anforderungen an UV-C-Sekundärluftgeräte

### 6.1 Allgemeine Anforderungen

Um die essentiellen Schutzziele von EU-Richtlinien (z. B. 2014/35/EU), die auf das Produkt anwendbar sind einzuhalten, müssen Nachweise geführt werden.

Hierzu zählen Dokumente und Nachweise wie:

- Risikobewertung nach DIN EN 61010-1 oder ähnlich;
- Techn. Sicherstellung der Gerätesicherheit (z. B. DIN EN 60335-1 (VDE 0700-1));
- Anbringung von Aufschriften und Sicherheitshinweisen (z. B. DIN EN 60335-1 (VDE 0700-1), IEC 60335-2-65);
- Erstellung von Anweisungen und Wartungsanweisungen (z. B. DIN EN IEC/IEEE 82079-1 (VDE 0039-1), DIN EN 60335-1 (VDE 0700-1), usw.).

### 6.2 Funktionsüberwachung

Im Fall geschlossener UV-C-Sekundärluftgeräte kann die Funktion der UV-C-Strahlungsquellen durch den Anwender im Betrieb nicht geprüft werden. Beim Ausfall einer UV-C-Strahlung emittierenden Komponente oder einer anderen prozessrelevanten Komponente, wird die Gerätefunktion gemindert.

Der Ausfall der UV-Strahlung erzeugenden Komponenten ist dem Nutzer anzuzeigen (z. B. über eine externe Signalleuchte oder ein kleines UV-geschütztes Sichtfenster). Eine sensorische Überwachung der Strahlungsquelle und der Lüfter ist teilweise optional (siehe Abschnitt 11).

Dem Nutzer ist das Erreichen der kalkulierten Bemessungslebensdauer der Strahlungsquellen anzuzeigen. Dazu kann z. B. eine Signalleuchte oder ein Betriebsstundenzähler eingesetzt werden.

ANMERKUNG Siehe auch: DIN EN 60730-1 (VDE 0631-1):2021-06, Automatische elektrische Regel- und Steuergeräte — Teil 1: Allgemeine Anforderungen.

## 6.3 Aufschriften und Anweisungen

### 6.3.1 Aufschriften am Gerät (allgemein)

An UV-C-Sekundärluftgeräten muss sinngemäß folgende Aufschrift angebracht sein:

**Warnung — UV-Strahlung ist gefährlich für die Augen und die Haut. Betreiben sie die UV-Quellen nicht außerhalb des Gerätes.**

Falls es vorgesehen ist, dass das Auswechseln der UV-Quellen durch den Benutzer vorgenommen werden kann, muss das Gerät mit „Bedienungshandbuch beachten“ oder mit dem Symbol 0790 nach DIN ISO 7000:2008-12 gekennzeichnet sein (Bild 2).



**Bild 2 — Symbol 0790 nach DIN ISO 7000:2008-12**

Das folgende Symbol 6040 nach IEC 60417 ist anzubringen (Bild 3):



**Bild 3 — Symbol 6040 nach IEC 60417**

UV-Luftentkeimer, die auswechselbare UV-Quellen enthalten, müssen mit dem Typ der UV-Quelle gekennzeichnet sein.

### 6.3.2 Aufschriften am Gerät (zusätzlich für Geräte mit Eignung UV-schutzbedürftige Personen)

Geräte für die allgemeine Anwendung können für UV-schutzbedürftige Personen geeignet sein, wenn die Aufstellbedingungen und die zusätzlichen Anforderungen hierfür eingehalten sind (10.5).

Es muss eine Kennzeichnung vorhanden sein, wenn das Gerät für UV-schutzbedürftige Personen geeignet ist. Beispiel:

**Dieses Gerät kann in Bereichen eingesetzt werden, in denen sich UV-schutzbedürftige Personen dauerhaft aufhalten**

### 6.3.3 Anweisungen in Unterlagen (allgemein)

Die Anweisungen sollten sinngemäß Folgendes angeben:

- die Reinigungsart und -häufigkeit, sowie die erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen, die anzuwenden sind;
- zu treffende Vorsichtsmaßnahmen, wenn UV-Quellen und Starter/Betriebsgeräte ausgetauscht werden, falls dies möglich ist;

- Reinigungsart und Wechselhäufigkeit der Vorfilterung;
- einen Hinweis darauf, dass das Gerät UV-Quellen enthält;
- einen Hinweis darauf, dass die nicht vorgesehene Verwendung des Gerätes oder die Beschädigung des Gehäuses zu einem Austreten gefährlicher UV-Strahlung führen kann. UV-C-Strahlung kann, auch bei geringer Dosis, Haut- und Augenschäden verursachen;
- einen Hinweis darauf, dass das Gerät nicht verwendet werden darf, wenn es offensichtlich beschädigt ist;
- wenn das Austauschen der UV-Quelle durch den Benutzer nicht gestattet ist, muss dies eindeutig angegeben werden;
- Austausch der UV-Quelle nur durch gleiche oder vom Gerätehersteller als äquivalent ausgewiesene UV-Quellen;
- einen Hinweis darauf, dass bei der fälschlichen Verwendung von nicht ozonfreien Lampen eine Gesundheitsgefährdung von Personen im Wirkungsbereich des Gerätes erzeugt wird;
- einen Hinweis darauf, dass das Gerät nicht ohne Vorfilter verwendet werden darf;
- einen Hinweis darauf, dass die Geräte nicht geeignet sind für die Verwendung an Orten, an denen besondere Bedingungen herrschen, wie z. B. das Vorhandensein einer stark staubhaltigen, korrosiven oder explosiven Atmosphäre (Staub, Dampf oder Gas);
- einen Hinweis darauf, dass sich die Inaktivierung von Mikroorganismen nur auf Raumluft bezieht, die Teil der Luftumwälzung ist;
- die Aufstellung des Gerätes muss festgelegt werden.

Die Anweisungen für Geräte, die austauschbare UV-Quellen enthalten, müssen ebenso Folgendes sinngemäß angeben:

- Lesen sie die Wartungsanweisungen, bevor sie das Gerät öffnen.
- Das Gerät muss vom Netz getrennt werden, bevor der UV-Strahler ausgetauscht wird.

Die Anweisungen sollten sinngemäß folgende ergänzende Informationen enthalten:

- Hinweise, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, wenn die Geräte im Bereich von Kindern und hinsichtlich UV-Strahlung schutzbedürftiger Personen betrieben werden;
- bestimmungsgemäßer Gebrauch (Aufstellung und Verwendung);
- Pflege- und Reinigungshinweise;
- Außerbetriebnahme/Entsorgungshinweise;
- Angabe des Nominalvolumenstroms und wenn abweichend des maximal möglichen Volumenstroms;
- den Typ und die Anzahl der UV-Quelle(n);
- Lebensdauerangabe der UV-Quelle(n) mit Degradationszahl;
- die Angabe, dass die UV-Quelle(n) nach der nominellen Lebensdauer getauscht werden sollte(n);

- Hinweis, welche Maßnahmen bei zerbrochenen Lampen (Quecksilber) durchzuführen sind, wenn vorhanden;
- Angaben zur Funktions- und UV-Quellenüberwachung durch den Anwender;
- Anbringungsarten;
- das Eigengewicht des Gerätes;
- Installationsvorgaben hinsichtlich Befestigung und Montage;
- Hinweise, was bei der Nutzung mehrerer gleicher Geräte zu beachten ist;
- Hinweise zur Aufstellung und Wirkung im Raum;
- der Geräuschpegel;
- Hinweis auf die Folgen von Verschmutzungen der Bestrahlungskammer (Dosisabnahme);
- HADR (en: hygienic air delivery rate);
- Fluenz bei Einmalpassage;
- Ergebnis der Klassifizierung (siehe Abschnitt 11).

#### **6.3.4 Anweisungen in Unterlagen (zusätzlich für Geräte mit Eignung UV-schutzbedürftige Personen)**

Bei der Eignung für UV-schutzbedürftige Personen (10.4) sind die Aufstellbedingungen und die zusätzlichen Anforderungen (10.5) deutlich anzugeben.

### **6.4 Aufbau**

UV-C-Sekundärluftgeräte enthalten UV-Quellen, die ein erhöhtes Gefährdungspotential darstellen und Materialeigenschaften beeinflussen können. Die Gestaltung der Bestrahlungskammer hat wesentlichen Einfluss auf die Entkeimungswirkung. Aufgrund dieser Aspekte leiten sich besondere Anforderungen an den Aufbau der Geräte ab.

Hinsichtlich der effizienten Wirkung der Bestrahlungskammer sollte folgendes berücksichtigt werden:

- Der UV-Luftentkeimer sollte so konstruiert sein, dass in der Bestrahlungskammer Strahlungsschatten vermieden werden. Dies kann beispielsweise durch eine geeignete Anordnung der Lampen und/oder durch den Einsatz von UV-C-beständigem Reflektormaterial erreicht werden.
- Die Bestrahlungskammer sollte aus energetischen Gründen mit einem UV-C-Reflektor ausgestattet sein.
- Der thermische Betriebspunkt des Strahlers sollte im Hinblick auf den Luftvolumenstrom berücksichtigt werden.

Hinsichtlich des unerwünschten Austritts von UV-C-Strahlung ist durch konstruktive Auslegung folgendes vorzusehen:

Die UV-Quelle muss abgeschaltet sein während

- der Installation;
- der Wartung;

- der Reinigung;
- des Austauschs des UV-Strahlers.

Wenn das Austauschen der UV-Quelle durch den Benutzer erlaubt ist, muss das Gerät so gebaut sein, dass

- das Austauschen der UV-Quelle leicht möglich ist;
- wenn Komponenten weggelassen oder falsch eingesetzt werden können, das Gerät nicht betriebsfähig sein darf oder es muss offensichtlich unvollständig sein;
- die UV-Quelle deaktiviert ist, ausgelöst durch das Öffnen oder Entfernen von Bauteilen, um Zugang zu erhalten.

Wenn das Austauschen der UV-Quelle durch den Benutzer nicht vorgesehen ist, muss das durch den Aufbau des Gerätes verhindert sein.

**ANMERKUNG** Diese Anforderung kann erfüllt werden, wenn der Strahler nur durch den Hersteller oder seinen Kundendienstvertreter zusammen mit einem Geräteteil ausgetauscht werden darf.

Hinsichtlich der Minimierung von Gefahren durch UV-Strahlung induzierte Materialschädigung ist folgendes vorzusehen:

- Teile, die der UV-Strahlung ausgesetzt sind, müssen über die gesamte Nutzlebensdauer des Teils UV-beständig oder durch Bauteile aus Metall, Keramik, Glas oder ähnliche UV-stabile und UV-undurchlässige Materialien abgedeckt sein. Dies gilt unter anderem für Teile aus organischem Material (Kunststoffe), innere Leitungen, Leiterplatten inkl. der Komponenten, Klebstoffe, Lacke, Dichtstoffe (Silikone), Lampenbetriebsgeräte und vergleichbare Baugruppen.

Hinsichtlich der Reduzierung der Gefahr des Austretens unerwünschter Schadstoffe ist folgendes vorzusehen:

- Es dürfen nur Lampen eingesetzt werden, die kein Ozon erzeugen.

Es wird empfohlen, die Gefahr der fälschlichen Verwendung von ozonerzeugenden Strahlern und Strahlern mit anderem Alterungsverhalten/anderer Bemessungsdauer durch geeignete Maßnahmen zu berücksichtigen. Dies gilt auch für Materialverwechslung, Lampenhersteller, marktübliche Lampen/Fremdlampen, Verwechslung bei Ersatzlampenlieferungen und Verwechslung bei der Gerätemontage.

## **6.5 Vorfilterung**

Eine Vorfilterung gegen groben Staub zur Reinhaltung der UV-Bestrahlungskammer sollte vorgesehen werden.

Da dieses Dokument ausschließlich UV-C-Sekundärluftgeräte mit UV-C behandelt, werden eventuelle Filter als technische Hilfsmittel zur Reinhaltung der UV-Bestrahlungskammer betrachtet. Die Luft sollte zunächst durch Filter strömen, um zu verhindern, dass sich Staub an den UV-Quellen und den reflektierenden Wänden der Bestrahlungskammer ansammelt. Unerwünschte Strahlungsabsorption kann dadurch reduziert und Reinigungsintervalle können verlängert werden.

## **6.6 Betriebsdauer der UV-Quelle – Alterungsfaktor**

UV-Quellen unterliegen einer altersbedingten Degradation. Das bedeutet, dass die emittierte Strahlungsleistung im Laufe der Nutzungsdauer abnimmt. Die Stärke der Degradation unterliegt zahlreichen Einflussfaktoren:

- Herstellungsqualität der UV-Quelle (Material, Elektroden, Beschichtung);
- Betriebsstunden;

- Einschalthäufigkeit;
- thermische Belastung im Gerätegehäuse;
- verwendete Technologie des Vorschaltgerätes.

ANMERKUNG Typische Alterungsangaben von ND-Lampenherstellern liegen bei 10 % bis 20% Leistungsverlust/9 000 h.

Eine Bewertung der Degradation im Rahmen einer Typprüfung erfolgt nicht. Die Typprüfung sieht hierzu zusammenfassend einen Alterungsfaktor AF vor. Die Betriebsdauer bis zum Wechsel der UV-Quelle muss vom Hersteller so angegeben werden, dass die Alterung mit dem Alterungsfaktor AF berücksichtigt wird.

## 7 Nachweis der Entkeimungswirksamkeit bei Einmalpassage

### 7.1 Grundlagen

Die Effektivität, mit der ein UV-Luftentkeimer die Anzahl der aktiven Mikroorganismen durch Bestrahlung reduziert, ist eine fundamentale charakteristische Eigenschaft des Gerätes. Betrachtet wird hierbei zunächst die mikrobizide Wirksamkeit bei Einmalpassage der Luft durch das Gerät. Diese hängt von verschiedenen Parametern ab, wie der Verteilung und Höhe der mikrobizid wirksamen Bestrahlungsstärke im Gerät, der Verweildauer der Luft im Strahlungsfeld und der Geometrie des Strahlungsraumes.

Es existieren verschiedene Nachweismethoden, die mit unterschiedlichem Aufwand betrieben werden und individuelle Vor- und Nachteile aufweisen. Folgende Verfahren kommen zum Einsatz:

- Simulationsmethoden basierend auf der Bestimmung des Luftstroms und der kürzesten Verweilzeit in Kombination mit View-Factor-Berechnungen, Raytracing-Simulationen oder Fluidodynamik-Simulationen;
- physikalische Messung der UV-Bestrahlungsstärke und Bestimmung der kürzesten Verweilzeit;
- biodosimetrische Verfahren mit direkter Bestimmung der für eine Entkeimung erforderlichen Fluenz an definierten Referenzmikroorganismen (in Anlehnung an DIN ISO 16000-36).

Für die Methoden View-Factor-Berechnung, Raytracing-Simulation und UV-C-Sensor-Messungen bestehen noch keine normierten Verfahren und im Allgemeinen liegen noch wenig Erfahrungen für kompakte UV-Luftentkeimer vor. Daher können diese Verfahren bei falscher Anwendung und fehlender Validierung zu großen Abweichungen mit hoher Unsicherheit führen.

Daher wird das biodosimetrische Verfahren mit Testmikroorganismen zum Nachweis der Wirksamkeit empfohlen, auch wenn andere Methoden aufschlussreiche Näherungswerte liefern können, insofern diese richtig und vollumfänglich durchgeführt werden.

Das im Rahmen einer Typprüfung verwendete Nachweisverfahren ist entsprechend der Geräteparameter und konstruktiver Eigenschaften durch die prüfende Einrichtung sinnvoll zu wählen. Gerätekennwerte wie der spezifizierte Luftvolumenstrom können die Eignung einiger Verfahren limitieren. Auch konstruktive Eigenschaften wie die Position, Anordnung oder Abmaße der Luftöffnungen können die Anwendbarkeit einiger Nachweisverfahren limitieren.

#### 7.1.1 Luftvolumenstrom und Verweilzeit

Der Luftvolumenstrom, und damit im Zusammenhang stehende Parameter wie die Strömungsgeschwindigkeit und die Verweilzeit (der Mikroorganismen) in der Bestrahlungskammer sind grundlegende Gerätekennwerte. Sie bestimmen maßgeblich die Entkeimungseffizienz bei Einmalpassage und haben Auswirkung auf die Raumwirkung.

Die direkt ermittelten oder durch Berechnung abgeleiteten Werte finden daher im Rahmen des Dokumentes Eingang in die Ermittlung der Fluenz durch sensorisch gestützte und biodosimetrische Nachweisverfahren und die Bestimmung des wirksamen Volumenstroms an entkeimter Luft (HADR, en: hygienic air delivery rate).

Im Rahmen der Typprüfung wird in der Regel der maximale Luftvolumenstrom sowie der Nominalvolumenstrom bestimmt.

Die Luftvolumenstrom-Bestimmung kann durch verschiedene, teilweise normierte Verfahren erfolgen.

Als geeignet gelten beispielsweise die genormten Verfahren nach DIN EN 12599:2013-01, Anhang H, die Netzmethode in Anlehnung an ISO 3966 und die Verwendung eines Kammerprüfstandes nach DIN EN ISO 5801. Siehe auch Anhang F.

Es ist darauf zu achten, dass die Druckverhältnisse um und im Gerät dem Einsatzfall entsprechen und die Verfahren für die Ausströmöffnungen geeignet sind.

Darüber hinaus bieten sich für kleinere Lufterlässe und Luftauslässe gängige Messsysteme der Raumklimatechnik nach der Trichtermethode an.

Ein Lufthomogenisierer ist in diesen Fällen oft erforderlich, um den erzeugten Luftspin des Geräteventilators zu berücksichtigen.

Sofern biodosimetrische Testmessstände im 2-Raumverfahren mit kalibrierten Ventilatoren versehen sind, können diese zur Volumenstrommessung Verwendung finden.

Der Bestimmung des Volumenstromes kommt eine große Bedeutung zu. Daher sollte die praktikable Messmethode mit der größten Genauigkeit gewählt werden.

Die Messverfahren liefern direkt oder durch Mittelung räumlich verteilter Einzelwerte einen gemittelten Volumenstrom über den Messquerschnitt. Das individuelle, zumeist stark turbulente Strömungsprofil eines UV-C-Sekundärluftgerätes findet für die weiteren Berechnungen keine Berücksichtigung. Aus dem Volumenstrom ermittelte Verweilzeiten stellen daher gemittelte Verweilzeiten dar.

Aus dem ermittelten gemittelten Volumenstrom kann mit den Maßen der Bestrahlungskammer die gemittelte Verweilzeit nach Gleichung (7) bestimmt werden.

$$t = \frac{L \cdot A}{\dot{V}} \quad (7)$$

Dabei ist

$\dot{V}$  der Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s;

$A$  der Strömungsquerschnitt in m<sup>2</sup>;

$L$  die Bestrahlungskammerlänge in m;

$t$  die gemittelte Verweilzeit in s.

Umfasst die Bestrahlungskammer Bereiche mit unterschiedlichen Strömungsquerschnitten, ist die Verweilzeitermittlung entsprechend segmentweise vorzunehmen.

## 7.2 Simulationsmethoden

Simulationsmethoden beruhen auf der Annahme von Modellen zur Ermittlung der Fluenz. Hierbei werden Annahmen zu Modellparametern gemacht und unterstützende Messungen zum Beispiel zur Strahlerleistung, dem Luftvolumenstrom oder den Strömungsverhältnissen in der Bestrahlungskammer durchgeführt. Diese

Methoden können insbesondere zur Planung und Auslegung von Geräten verwendet werden, können aber nur durch eine Validierung belastbare Ergebnisse zum Nachweis der Wirksamkeit erreichen.

Raytracing-Simulationen berechnen die (meist lineare) Ausbreitung von Photonen im Raum, ausgehend von der Lichtquelle. Sie sind damit geeignet an verschiedenen Punkten im Raum Strahlungsintensitäten abzuschätzen.

Bei einer reinen Raytracing Simulation ist die Fluiddynamic nicht bekannt. Anzahl und Größe der Partikel werden auch nicht berücksichtigt. Daher ist eine Raytracing Simulation alleine nicht aussagekräftig.

Mit einer begrenzten Anzahl von Reflexionen oder begrenzten Oberflächen-Reflexionen in Kombination mit der kürzesten Verweilzeit eines Teilchens im UV-Luftentkeimer kann die Dosis basierend auf einer Raytracing-Simulation abgeschätzt werden.

Realitätsnahe Ergebnisse werden geliefert, wenn Raytracing-Simulationen mit Ergebnissen der Fluidynamik/Strömungsverteilung sowie einem Partikeltracing kombiniert werden

- a) zur simulativen Ermittlung der Fluenz (1-5) kann wie folgt vorgegangen werden: Bestimmung der Strahlungsintensität in jedem Raumpunkt des Bestrahlungsraumes mittels Raytracing;
- b) Ermittlung der Fluidynamik (Geschwindigkeit und Richtung in jedem Volumenelement des Bestrahlungsraumes) mittels CFD;
- c) Simulation von Partikeln unterschiedlicher Größe die sich mit den Werten der CFD durch das Strahlungsfeld bewegen;
- d) Akkumulation der Intensität der jeder Partikel auf seinem Weg durch den Bestrahlungsraum ausgesetzt ist zu einer Fluenz;
- e) Statistische Auswertung der Gesamt-Fluenz über aller Partikel (Verteilung).

Als Alternativansatz können die Punkte c) bis e) ersetzt werden durch Ermittlung der Bestrahlungsdosis für jedes Volumenelement im Bestrahlungsraum, durch Lösen einer Transportgleichung (Konvektions-Diffusionsgleichung).

Weitere Angaben zur Validierung sind in 7.3 enthalten.

Ein Simulationsbeispiel ist in Anhang D enthalten.

### 7.3 Sensorverfahren

Die entkeimungswirksame Dosis bei Einmalpassage kann durch eine radiometrische Messung, Simulation oder Modellierung bestimmt werden. Auf Grund der messtechnischen Einschränkung kommerzieller radiometrischer Messgeräte und teilweise fehlender wissenschaftlich abgesicherter absoluter mikrobiologischer Wirkfunktionen und D90-Werte unterscheidet sich die radiometrisch ermittelte Dosis  $H$  von der mikrobiologisch ermittelten Fluenz und ist deshalb dieser nicht gleichzusetzen. Verschiedene Parameter wie der Strahlungsfluss der UV-Quelle, deren Temperatur, der Reflexionsgrad der Bestrahlungskammer und der Luftvolumenstrom beeinflussen die wirksame Dosis.

Zur Bestimmung der sphärischen Bestrahlungsstärke in der Bestrahlungskammer sind strenggenommen kompakte (kugelförmige) Mess-Sensoren mit gleichmäßiger Empfindlichkeit für alle Raumrichtungen erforderlich. Diese sind bislang nicht oder nur sehr bedingt verfügbar. Alternativ ist eine sensorbasierte Messung der Bestrahlungsstärke in der Ebene der Reaktorwand mit handelsüblichen ebenen Sensoren möglich.

Aus der Messung der Bestrahlungsstärke in der Ebene der Wand mittels planarem Sensor lässt sich allerdings die entkeimungswirksame sphärische Bestrahlungsstärke nicht direkt ermitteln. Vielmehr ist ein Umrech-