

**DIN EN 4828**

ICS 17.180.20; 29.140.99; 49.095

**Luft- und Raumfahrt –  
Thermische Drift von LED-Leuchten –  
Klassifizierung und Messmethoden;  
Deutsche und Englische Fassung EN 4828:2022**

Aerospace series –  
Thermal drift of LED luminaires –  
Classification and measuring methods;  
German and English version EN 4828:2022

Série aérospatiale –  
Dérive thermique des luminaires à LED –  
Classification et méthodes de mesure;  
Version allemande et anglaise EN 4828:2022

Gesamtumfang 38 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

## Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Das vorliegende Dokument (EN 4828:2022) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Kabine, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-09-05 AA „Anzeigen, Projektion und Beleuchtung“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieses Dokuments die Englische Fassung hinzugefügt.

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.

Deutsche Fassung

Luft- und Raumfahrt —  
Thermische Drift von LED Leuchten —  
Klassifizierung und Messmethoden

Aerospace series —  
Thermal drift of LED luminaires —  
Classification and measuring methods

Série aérospatiale —  
Dérive thermique des luminaires à LED —  
Classification et méthodes de mesure

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. August 2022 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

## Inhalt

|                                                              | Seite |
|--------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                   | 3     |
| Einleitung .....                                             | 4     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                    | 5     |
| 2 Normative Verweisungen .....                               | 5     |
| 3 Begriffe .....                                             | 5     |
| 4 Klassifizierungsbezüge .....                               | 7     |
| 4.1 Allgemeines .....                                        | 7     |
| 4.2 Referenztemperatur .....                                 | 7     |
| 4.3 Referenzfarbkoordinaten .....                            | 7     |
| 5 Klassifizierungskategorien .....                           | 8     |
| 5.1 Klassifizierung des Lichtstroms .....                    | 8     |
| 5.2 Klassifizierung der Farbart .....                        | 9     |
| 6 Kennzeichnung der Leuchte .....                            | 9     |
| 7 Betrieb der Leuchte .....                                  | 10    |
| 7.1 Allgemeines .....                                        | 10    |
| 7.2 Einbaulage .....                                         | 10    |
| 7.3 Temperatureinstellungen .....                            | 11    |
| 7.4 Stromversorgung .....                                    | 11    |
| 8 Lichtmessung .....                                         | 11    |
| 8.1 Allgemeines .....                                        | 11    |
| 8.2 Messverfahren .....                                      | 11    |
| 8.3 Messgeräte .....                                         | 11    |
| 8.4 Bestimmung des Anfangswerts .....                        | 12    |
| Anhang A (normativ) MacAdam-Ellipsen und Interpolation ..... | 13    |
| A.1 Allgemeines .....                                        | 13    |
| A.2 Beispiel .....                                           | 14    |
| Literaturhinweise .....                                      | 17    |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 4828:2022) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie — Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat dieses Dokument die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer von ASD-STAN erhalten, bevor es CEN vorgelegt wurde.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2023, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2023 zurückgezogen werden.

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

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## **Einleitung**

Da LEDs sehr anfällig für thermische Veränderungen sind, werden Farbart und Lichtstrom einer LED-Leuchte sowohl von der eigenen als auch von der Umgebungstemperatur beeinflusst. Temperaturschwankungen können zu Schwankungen des Lichtstroms und der Farbart führen, die wiederum die Beleuchtungsqualität negativ beeinflussen können. Ein Beispiel dafür sind sichtbare Unterschiede der Farbart und Leuchtdichte benachbarter Leuchten.

Diese Unterschiede hängen von den verwendeten LED-Typen ab und können bis zu einem gewissen Ausmaß elektronisch innerhalb des Gerätes ausgeglichen werden.

Durch die Einführung eines Messverfahrens kann der funktionale Zusammenhang zwischen Temperaturschwankung und thermischer Drift von Farbart und Lichtstrom in Flugzeuganwendungen quantitativ bestimmt werden. Das Ziel dieses Verfahrens besteht darin, unter Berücksichtigung thermischer Effekte ein homogenes Erscheinungsbild von LED-Leuchten sicherzustellen.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Begriffe sowie Messverfahren und Einstellungen zur Klassifizierung des thermischen Verhaltens von LED- und OLED-Leuchten in der Flugzeugkabine hinsichtlich Farbart und Helligkeitscharakteristika fest. Dieses Dokument ist für Leuchten vorgesehen, die unter photopischen Bedingungen bewertet werden.

## 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).

EN 13032-4, *Licht und Beleuchtung — Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten — Teil 4: LED-Lampen, -Module und -Leuchten*

## 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 <https://www.electropedia.org/>

### 3.1

#### **Farbart**

Farbvalenzen, die sich nur in der Leuchtdichte unterscheiden

### 3.2

#### **Farbkoordinate**

zweidimensionale Darstellung der Farbe im entsprechenden Farbraum, z. B.  $x$  und  $y$  für CIE 1931

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.6]

### 3.3

#### **CIE 1931-Farbraum**

Beschreibung eines zweidimensionalen Farbraums für Lichtfarben

Anmerkung 1 zum Begriff: Im CIE 1931-Farbdigramm wird der Farbort im Diagramm mithilfe der Koordinaten  $x$  und  $y$  beschrieben. Für dieses Dokument wird der CIE 1931-2°-Beobachter benutzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: CIE 015 enthält weitere Informationen zum CIE 1931-Farbraum.

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.5]

### 3.4

#### **Farbraum**

Beschreibungsmodell zur Festlegung von Farbtönen in einem zweidimensionalen (Farbton ohne Intensität, z. B. CIE 1931  $xy$ ) Farbraum oder dreidimensionalen (Farbton und Intensität, z. B. CIE 1931  $Yxy$ ) Farbraum

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.3]

### 3.5

#### **Beleuchtungsstärke**

Maß für den auf eine Fläche einfallenden Gesamtlichtstrom je Flächeneinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist lx.

### 3.6

#### **LED-Leuchte**

Bauteil, das auf LEDs als Lichtquelle basiert, einschließlich optischer und elektronischer Bauelemente sowie eines Kühlkörpers, die von einem Gehäuse umschlossen sind

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.4]

### 3.7

#### **lichtemittierende Diode**

##### **LED**

Halbleiterbauteil mit einem p-n-Übergang, das optische Strahlung bei Anregung durch einen elektrischen Strom emittiert

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff LED enthält im folgenden Kontext organische LED (OLED).

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.1 modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde eingefügt.]

### 3.8

#### **MacAdam-Ellipse**

Bereich im entsprechenden Farbraum (z. B. CIE 1931), in dem alle Farben bei einem Beobachter den gleichen visuellen Eindruck wie die Farbe in der Mitte dieses Bereiches hervorrufen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Begrenzungslinie der Ellipse stellt den gerade noch wahrnehmbaren Farbunterschied dar. Basierend auf experimentellen Daten wurden ursprünglich 25 MacAdam-Ellipsen im CIE 1931-Farbraum festgelegt. Bei dem Experiment wurde dem Beobachter ein bestimmter Farbton vorgegeben und der Versuchsaufbau war dazu in der Lage, den Farbort eines zweiten Farbtons abzuändern. Die Farbörter, an denen der Beobachter einen Unterschied zwischen den zwei Farbtönen festgestellt hat, wurden aufgezeichnet. Nachdem alle diese Punkte im CIE 1931-Diagramm aufgetragen wurden, ergaben sie eine Ellipse um die Farbörter des vorgegebenen Farbtons. Die Größe und die Ausrichtung der Ellipsen sind für die unterschiedlichen Farbtöne unterschiedlich.

[QUELLE: D. L. MacAdam]

### 3.9

#### **organische lichtemittierende Diode**

##### **OLED**

organisches Halbleiterbauteil mit einem p-n-Übergang, das optische Strahlung bei Anregung durch einen elektrischen Strom emittiert

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.2]

### 3.10

#### **Standardabweichung des Farbabgleichs**

##### **SDCM**

Metrik des Abstandes zwischen Farbarten bei photopischem Leuchtdichteniveau, die den ungefähren wahrnehmbaren Abstand zwischen zwei Farbörtern als ein Vielfaches der MacAdam-Ellipsen für diese Farbörter beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff:  $n$  SDCM bedeutet, dass der Abstand zwischen den zwei Farbörtern dem  $n$ -Fachen des Radius der entsprechenden MacAdam-Ellipse in dieser Richtung entspricht. Die Mitte der Ellipse wird durch den Farbort der Bezugsfarbe angegeben. Zwei Farbörter auf den gegenüberliegenden Seiten der MacAdam-Ellipse haben

einen Abstand von (2 n) SDCM zueinander. Die Berechnung von SDCM zwischen zwei Farbbörtern ist in Abhängigkeit vom gewählten Farbraum möglicherweise nichtlinear. Deshalb sind Abstände auf weniger als 10 SDCM begrenzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für dieses Dokument wurden die berechneten Daten aus den MacAdam-Ellipsen verwendet.

[QUELLE: EN 4706:2019, 3.8 modifiziert — „Lichtfarben“ wurde im Text der Definition durch „Farbarten“ ersetzt.]

### 3.11

#### thermische Drift

Farbart- und Lichtstromschwankungen aufgrund von sich ändernden Temperaturen

## 4 Klassifizierungsbezüge

### 4.1 Allgemeines

Die Klassifizierung der Lichtstrom- und Lichtfarbe der LED-Leuchte muss in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur von  $-15\text{ °C}$  bis  $55\text{ °C}$  erfolgen. Die Umgebungstemperatur ist die Temperatur im thermischen Gleichgewicht im Einbauort des Gerätes.

Es muss festgelegt werden, ob es sich bei der LED-Leuchte um eine Lösung mit einer einzelnen oder mehreren Primärfarben handelt.

### 4.2 Referenztemperatur

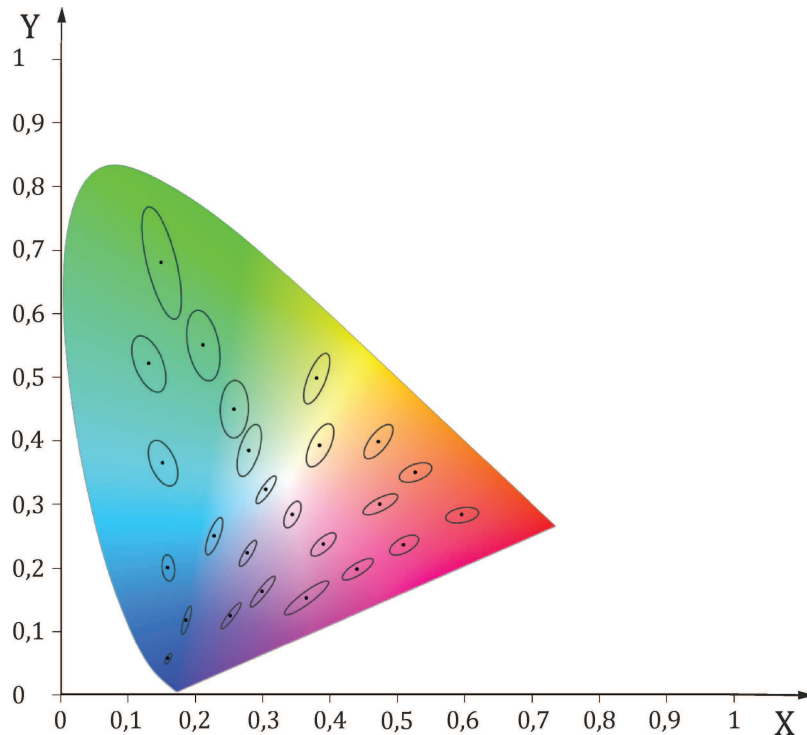
Zur Klassifizierung der Geräteeigenschaften werden drei Umgebungstemperaturbereiche festgelegt: Niedrige Temperatur von  $-15\text{ °C}$  bis  $< 10\text{ °C}$ , Normalbetrieb von  $10\text{ °C}$  bis  $40\text{ °C}$  und hohe Temperatur von  $> 40\text{ °C}$  bis  $55\text{ °C}$ . Entsprechend diesen Bereichen werden 5 Referenztemperaturen als thermische Messbedingungen angegeben, siehe Tabelle 1.

**Tabelle 1 — Thermische Messbedingungen**

|                 | Niedrige Temperatur | Normalbetrieb | Hohe Temperatur |
|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|
|                 | °C                  | °C            | °C              |
| Messbedingungen | −15                 | 10, 25, 40    | 55              |

### 4.3 Referenzfarbkoordinaten

Die Klassifizierung der Farbart der Leuchten (siehe 5.2) basiert auf MacAdam-Ellipsen mit SDCM zur quantitativen Bestimmung von Farbtabweichungen. Da MacAdam-Ellipsen nur für bestimmte Farbkoordinaten festgelegt sind (siehe Bild 1), muss das in Anhang A beschriebene Interpolationsverfahren angewendet werden. Für Weißtöne, beschrieben durch (korrelierte) Farbtemperaturen, können alternativ weiße Farbellipsen, z. B. S 4000, angewendet werden.



#### Legende

X Farbkoordinate x  
Y Farbkoordinate y

**Bild 1 — 25 MacAdam-Ellipsen (Darstellung mit 10-facher Vergrößerung)**

## 5 Klassifizierungskategorien

### 5.1 Klassifizierung des Lichtstroms

Das Lichtstromverhalten der LED-Leuchten muss für drei Temperaturbereiche klassifiziert werden, siehe Tabelle 1. Alle Werte müssen in Bezug auf den Lichtstrom bei einer Temperatur von 25 °C angegeben werden:

$$\text{Lichtstromindikator (T)} = \text{Lichtstrom (T)} / \text{Lichtstrom (25 °C)}$$

Der Lichtstromindikator kann aus dem Verhältnis aller photometrischen Parameter berechnet werden, die proportional zum Lichtstrom sind, z. B. Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Lichtstärke.

Das Lichtstromverhalten wird durch verschiedene Klassifizierungen des Lichtstroms FXY bestimmt. F gibt den Lichtstromindikator an, während X dem Temperaturbereich und Y der Schwankung des Lichtstroms in Prozent entspricht. Die Schwankung des Lichtstroms muss quantitativ in einem 1 %-Stufenraster bestimmt werden.

In Tabelle 2 ist ein Beispiel für die Klassifizierung des Lichtstroms angegeben.

Tabelle 2 — Beispiele für die Klassifizierung des Lichtstroms

| Umgebungs-<br>temperatur | Beleuchtungseinrichtung Typ A |                                    | Beleuchtungseinrichtung Typ B |                                    |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
|                          | Schwankung<br>des Lichtstroms | Klassifizierung<br>des Lichtstroms | Schwankung des<br>Lichtstroms | Klassifizierung<br>des Lichtstroms |
| L = -15 °C bis < 10 °C   | 1 ± 20 %                      | FL20                               | 1 ± 10 %                      | FL10                               |
| N = 10 °C bis 40 °C      | 1 ± 10 %                      | FN10                               | 1 ± 5 %                       | FN5                                |
| H = > 40 °C bis 55 °C    | 1 ± 15 %                      | FH15                               | 1 ± 8 %                       | FH8                                |

In der typischen Luftfahrzeugbeleuchtungsumgebung werden unbeabsichtigte Schwankungen des Lichtstroms von höchstens ±10 % als nicht störend und unter ±5 % als kaum sichtbar angesehen. Im Beispiel in Tabelle 2 weist die Beleuchtungseinrichtung vom Typ B eine bessere Leistung auf als Typ A.

## 5.2 Klassifizierung der Farbart

Das Farbartverhalten der LED-Leuchten muss für drei Temperaturbereiche klassifiziert werden, siehe Tabelle 1. Bei der Klassifizierung muss die maximale Farbartschwankung, die in SDCM gemessen wurde, aufgerundet auf die nächste ganze Zahl, angewendet werden. Tabelle 3 enthält Beispiele für die Klassifizierung der Farbarten.

Tabelle 3 — Beispiele für die Klassifizierung der Farbarten

| Umgebungstemperatur    | Beleuchtungseinrichtung Typ A       |                                | Beleuchtungseinrichtung Typ B       |                                |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
|                        | Gemessene<br>Farbart-<br>schwankung | Klassifizierung<br>der Farbart | Gemessene<br>Farbart-<br>schwankung | Klassifizierung<br>der Farbart |
| L = -15 °C bis < 10 °C | 3,1 SDCM                            | CL4                            | 3,4 SDCM                            | CL4                            |
| N = 10 °C bis 40 °C    | 3,0 SDCM                            | CN3                            | 1,8 SDCM                            | CN2                            |
| H = > 40 °C bis 55 °C  | 3,5 SDCM                            | CH4                            | 2,7 SDCM                            | CH3                            |

Das Farbartverhalten wird durch verschiedene Klassifizierungen der Farbart CXn bestimmt. C gibt den Leistungsparameter Farbartschwankung an, während X dem Temperaturbereich und n dem SDCM-Multiplikationsfaktor entspricht. Da n auf die nächste ganze Zahl aufgerundet wird, muss die Farbartschwankung in einem einstufigen SDCM-Raster quantitativ bestimmt werden. Die angegebenen SDCM-Werte beziehen sich auf den Referenzwert bei einer Temperatur von 25 °C, d. h. für Klasse CN3, dass der Farbtabstand zwischen den Farbkoordinaten bei 25 °C und die Farbkoordinaten bei der Referenztemperatur ≤ 3 SDCM bei 10 °C bis 40 °C betragen müssen. Von den beiden vorstehend angegebenen Beispielen weist die Beleuchtungseinrichtung vom Typ B eine bessere Leistung auf als Typ A.

## 6 Kennzeichnung der Leuchte

Zur Kategorisierung der Geräte muss nur die Klassifizierung des normalen Temperaturbereichs von 10 °C bis 40 °C angewendet werden. Eine Kennzeichnung der LED-Leuchten muss nach Tabelle 4 durchgeführt werden, z. B. RGB CN3 LN10. RGB gibt die in der Leuchte verwendeten Primärfarben an, CN3 die Farbtababweichung unter 3 SDCM und LN10 eine Lichtstärkeabweichung unter 10 %.

Diese Kennzeichnung muss in den zugehörigen Unterlagen, z. B. Funktionsbeschreibungen, sowie auf der Verpackung sichtbar sein.

Eine Kennzeichnung der Geräte selbst ist empfehlenswert.

**Tabelle 4 — Kennzeichnung der Leuchte**

| Primärfarben | Farbart             | Intensität            |
|--------------|---------------------|-----------------------|
| z. B. RGB    | z. B. CN3, CN4, ... | z. B. LN10, LN20, ... |
|              | nach Tabelle 3      | nach Tabelle 2        |

## 7 Betrieb der Leuchte

### 7.1 Allgemeines

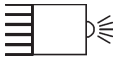
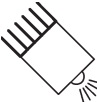
Einbaulage, Einbaubedingung und Umgebungstemperatur müssen den Betriebsbedingungen im Luftfahrzeug ähneln. Aus diesem Grund müssen mehrere genormte Prüfumgebungen bestimmt werden. Die Leuchten müssen vor Vibrationen und Schlägen geschützt werden, um eine durch mechanische Änderung verursachte Veränderung der Lichtstärke zu vermeiden. Jede zu prüfende Leuchte muss mit ihrer Teilenummer und Seriennummer gekennzeichnet sein. Die Prüfung muss reproduzierbar und dokumentiert sein.

### 7.2 Einbaulage

Die Lage des (der) Kühlkörper(s) und damit deren Auswirkung auf die Wärmekonvektion sollte in Bezug auf die Einbaulage der Leuchte in der Kabine berücksichtigt werden, siehe Tabelle 5.

Falls mehrere Einbaulagen vorhanden sind, muss die thermisch ungünstigste Einbaulage bestimmt und dokumentiert und in den Prüfungen verwendet werden. Die Klassifizierung der Lage des Kühlkörpers ist von der Lage der Lichtstärke unabhängig.

**Tabelle 5 — Prüfkategorien für den Einbau von Leuchten**

| Prüfkategorie für die Kühlkörper-Lage | Kühlkörper-Lage                                  |                                                                                       |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 01                                    | horizontal                                       |  |
| 02                                    | vertikal nach oben                               |  |
| 03                                    | vertikal nach unten                              |  |
| 04                                    | besondere Bedingung<br>(z. B. teilweise gedreht) |  |