



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-07-7

TECHNICAL REPORT

Characterization and Calibration Methods of UV Radiometers

CIE 220:2016

UDC: 535.243
535.31

Descriptor: Spectrophotometry
Ultraviolet rays

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organization devoted to international co-operation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the art and science of lighting. Its membership consists of the National Committees in about 40 countries.

The objectives of the CIE are:

1. To provide an international forum for the discussion of all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting and for the interchange of information in these fields between countries.
2. To develop basic standards and procedures of metrology in the fields of light and lighting.
3. To provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
4. To prepare and publish standards, reports and other publications concerned with all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting.
5. To maintain liaison and technical interaction with other international organizations concerned with matters related to the science, technology, standardization and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried out by Technical Committees, organized in seven Divisions. This work covers subjects ranging from fundamental matters to all types of lighting applications. The standards and technical reports developed by these international Divisions of the CIE are accepted throughout the world.

A plenary session is held every four years at which the work of the Divisions and Technical Committees is reported and reviewed, and plans are made for the future. The CIE is recognized as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organizations.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les Pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage. Elle est composée de Comités Nationaux représentant environ 40 pays.

Les objectifs de la CIE sont :

1. De constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage et pour l'échange entre pays d'informations dans ces domaines.
2. D'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
3. De donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
4. De préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
5. De maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Les travaux de la CIE sont effectués par Comités Techniques, organisés en sept Divisions. Les sujets d'études s'étendent des questions fondamentales, à tous les types d'applications de l'éclairage. Les normes et les rapports techniques élaborés par ces Divisions Internationales de la CIE sont reconnus dans le monde entier.

Tous les quatre ans, une Session plénière passe en revue le travail des Divisions et des Comités Techniques, en fait rapport et établit les projets de travaux pour l'avenir. La CIE est reconnue comme la plus haute autorité en ce qui concerne tous les aspects de la lumière et de l'éclairage. Elle occupe comme telle une position importante parmi les organisations internationales.

DIE INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ist eine Organisation, die sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Austausch von Informationen zwischen ihren Mitgliedsländern bezüglich der Kunst und Wissenschaft der Lichttechnik widmet. Die Mitgliedschaft besteht aus den Nationalen Komitees in rund 40 Ländern.

Die Ziele der CIE sind:

1. Ein internationales Forum für Diskussionen aller Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik und für den Informationsaustausch auf diesen Gebieten zwischen den einzelnen Ländern zu sein.
2. Grundnormen und Verfahren der Messtechnik auf dem Gebiet der Lichttechnik zu entwickeln.
3. Richtlinien für die Anwendung von Prinzipien und Vorgängen in der Entwicklung internationaler und nationaler Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu erstellen.
4. Normen, Berichte und andere Publikationen zu erstellen und zu veröffentlichen, die alle Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik betreffen.
5. Liaison und technische Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen zu unterhalten, die mit Fragen der Wissenschaft, Technik, Normung und Kunst auf dem Gebiet der Lichttechnik zu tun haben.

Die Arbeit der CIE wird durch Technische Komitees geleistet, die in sieben Divisionen organisiert sind. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtanwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind auf der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen berichtet und überprüft werden, sowie neue Pläne für die Zukunft ausgearbeitet werden. Die CIE wird als höchste Autorität für alle Aspekte des Lichtes und der Beleuchtung angesehen. Auf diese Weise unterhält sie eine bedeutende Stellung unter den internationalen Organisationen.

Published by the

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
CIE Central Bureau
Babenbergerstrasse 9, A-1010 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87
e-mail: ciecb@cie.co.at
www.cie.co.at



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-07-7

TECHNICAL REPORT

Characterization and Calibration Methods of UV Radiometers

CIE 220:2016

UDC: 535.243
535.31

Descriptor: Spectrophotometry
Ultraviolet rays

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 2-47 of Division 2 "Physical Measurement of Light and Radiation" and has been approved by the Board of Administration as well as by Division 2 of the Commission Internationale de l'Eclairage for study and application. The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by the CIE membership and other interested parties. It should be noted, however, that the status of this document is advisory and not mandatory.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique CIE 2-47 de la Division 2 "Mesures Physiques de la Lumière et des Radiations" et a été approuvé par le Bureau et Division 2 de la Commission Internationale de l'Eclairage, pour étude et emploi. Le document expose les connaissances et l'expérience actuelles dans le domaine particulier de la lumière et de l'éclairage décrit ici. Il est destiné à être utilisé par les membres de la CIE et par tous les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire.

Dieser Technische Bericht ist vom Technischen Komitee CIE 2-47 der Division 2 "Physikalische Messungen von Licht und Strahlung" ausgearbeitet und vom Vorstand sowie Division 2 der Commission Internationale de l'Eclairage gebilligt worden. Das Dokument berichtet über den derzeitigen Stand des Wissens und Erfahrung in dem behandelten Gebiet von Licht und Beleuchtung; es ist zur Verwendung durch CIE-Mitglieder und durch andere Interessierte bestimmt. Es sollte jedoch beachtet werden, dass das Dokument eine Empfehlung und keine Vorschrift ist.

Any mention of organizations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of any lists, up to the time of going to press, these may not be comprehensive.

Toute mention d'organisme ou de produit n'implique pas une préférence de la CIE. Malgré le soin apporté à la compilation de tous les documents jusqu'à la mise sous presse, ce travail ne saurait être exhaustif.

Die Erwähnung von Organisationen oder Erzeugnissen bedeutet keine Billigung durch die CIE. Obgleich große Sorgfalt bei der Erstellung von Verzeichnissen bis zum Zeitpunkt der Drucklegung angewendet wurde, besteht die Möglichkeit, dass diese nicht vollständig sind.

The following members of TC 2-47 "Characterization and Calibration Methods of UV Radiometers" took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 2 "Physical Measurement of Light and Radiation".

Authors:

Sperling, A. (Chair)	Germany
Bergen, T.	Australia
Blattner, P.	Switzerland
Goodman, T.	United Kingdom
Gugg-Helminger, A.	Germany
Larason, T.	USA
Sperfeld, P.	Germany
Takeshita, S.	Japan

Advisor:

Xu, G.	Singapore
--------	-----------

CONTENTS

Summary	V
Résumé	V
Zusammenfassung	V
1 Introduction	1
1.1 Objectives	1
1.2 Scope	1
2 Definitions (General)	1
3 Quality indices	5
4 Properties of UV radiometers	7
4.1 Initial adjustment	7
4.2 Effective responsivity against a reference-spectrum source	8
4.3 Spectral matching	9
4.4 Short- and long-wavelength range response characteristic	10
4.5 Directional response	11
4.6 Linearity	13
4.7 Display unit	13
4.8 Fatigue	14
4.9 Temperature dependence	15
4.10 Humidity resistance	16
4.11 Modulated radiation	17
4.12 Polarization	18
4.13 Spatial non-uniformity response	19
4.14 Range change	20
5 Specification of UV radiometers	21
6 Calibration of UV radiometers	22
6.1 Mathematical description for the determination of responsivity in terms of weighted irradiance	22
6.2 Source-based approach	23
6.3 Detector-based approach	24
6.4 Full calibration method	26
6.4.1 Procedure for the measurement of the spectral irradiance responsivity	26
6.4.2 Procedure for the measurement of spectral irradiance and spectral distribution of the source	27
6.4.3 Procedure for the calibration of the effective irradiance responsivity of UV radiometers	28
6.5 Detector-based secondary calibration method by direct comparison	28
6.5.1 Procedures using detector standards	29
6.5.2 Procedures using source standards	29
6.6 Performance requirements for reference UV radiometers	29
6.7 Calibration interval for UV radiometers	31
7 Uncertainty evaluation	31
7.1 Method	31
7.2 Major sources of uncertainty	31
Annex A	33
A.1 Reference-spectrum sources for broad-band characterization	33
A.2 Linearity of UV radiometers	45
References	45

CHARACTERIZATION AND CALIBRATION METHODS OF UV RADIOMETERS

Summary

This technical document prepared by CIE Technical Committee TC 2-47 describes quality indices for UV radiometers, which are helpful for manufacturers and users to characterize instruments on a common basis. To harmonize CIE documents, the quality indices described in this document relate to the quality indices described in Joint ISO/CIE International Standard ISO/CIE 19476:2014(E) (formerly CIE S 023/E:2013), and references are made to those where applicable.

Different from photometers, the subject of ISO/CIE 19476:2014(E), UV radiometers may be designed for various actinic spectra and different spectral ranges. Therefore, instead of only one defined reference-spectrum source (CIE Source A) used in ISO/CIE 19476:2014(E) three reference-spectrum sources are proposed in this document to support the generic spectral characterization of UV radiometers for various applications. The defined spectra of reference sources for the characterization of UV radiometers are given in Annex A.

This document also describes source-based and detector-based methods along with measurement conditions and limiting boundary conditions for the calibration of UV radiometers used for laboratory as well as industrial applications.

CARACTÉRISATION ET MÉTHODES D'ÉTALONNAGE DE RADIOMÈTRES UV

Résumé

Ce rapport technique, utile autant aux fabricants qu'aux utilisateurs, a été élaboré par le comité technique TC 2-47 de la CIE et décrit, sur une base commune, les caractéristiques des radiomètres UV. Afin d'harmoniser les documents de la CIE, les caractéristiques décrites dans le présent document se rapportent à la norme internationale commune ISO/CIE 19476:2014(E) (anciennement CIE S 023/E:2013) à laquelle il est fait référence à chaque fois qu'elle est applicable.

Contrairement aux photomètres qui eux sont décrits dans la norme ISO/CIE 19476:2014(E), les radiomètres UV peuvent être conçus pour différents spectres actiniques et différentes étendues spectrales. Plutôt que d'utiliser la seule source de spectre de référence (illuminant A de la CIE) définie, le présent rapport propose trois sources de spectre de référence afin de contribuer à la caractérisation spectrale générale des radiomètres UV pour diverses applications. Les spectres de référence définis pour la caractérisation de radiomètres UV sont listés dans l'annexe ci-jointe.

Le présent rapport décrit en outre des procédés reposant d'une part sur le récepteur, d'autre part sur l'émetteur de rayonnement, ainsi que les conditions de mesures et les conditions secondaires restrictives pour l'étalonnage de radiomètres UV utilisés en laboratoire ou dans des applications industrielles.

CHARAKTERISIERUNG UND KALIBRIERMETHODEN VON UV-RADIOMETERN

Zusammenfassung

Dieser für Hersteller und Anwender nützliche technische Bericht wurde vom Technischen Komitee TC 2-47 der CIE ausgearbeitet und beschreibt auf einer gemeinsamen Grundlage die Kennzahlen für UV-Radiometer. Zur Harmonisierung der CIE Dokumente beziehen sich die in diesem Dokument beschriebenen Kennzahlen auf den gemeinsamen internationalen ISO/CIE Standard ISO/CIE 19476:2014(E) (ehemals CIE S 023/E:2013), und auf den, wo immer anwendbar, referenziert wird.

Im Gegensatz zu Photometern, die in ISO/CIE 19476:2014(E) beschrieben werden, können UV-Radiometer für verschiedene aktinische Spektren und unterschiedliche spektrale Bereiche konstruiert sein. Daher werden in diesem Bericht anstelle der einen definierten Referenzspektrum-Quelle (CIE Normlicht A), wie sie in ISO/CIE 19476:2014(E) verwendet wird, drei Referenzspektrum-Quellen vorgeschlagen, um die allgemeine spektrale Charakterisierung von UV-Radiometern für verschiedene Anwendungen zu unterstützen. Die definierten Referenzspektren für die Charakterisierung von UV-Radiometern sind im Anhang aufgeführt.

Dieser Bericht beschreibt außerdem empfangen- und strahlerbasierte Verfahren einschließlich der Messbedingungen und einschränkenden Randbedingungen für die Kalibrierung von UV-Radiometern, die im Labor und in industriellen Anwendungen eingesetzt werden.

1 Introduction

1.1 Objectives

Broadband ultraviolet (UV) radiometers (also called integral measuring UV radiometers) are widely used for measuring UV irradiance or radiant exposure in various industrial, medical, environmental, health and other applications. The accuracy or uncertainty of measurement achievable using these types of radiometers is influenced by many factors, such as the characteristics of the radiometer, operating conditions, environmental conditions and the characteristics of the UV sources that are used to calibrate the radiometer and those that are measured. In particular, the lack of spectral resolving power means that significant measurement errors may occur unnoticed if the radiometer used has a poor match to the intended spectral sensitivity function and/or is not correctly calibrated or used. This has frequently appeared to be the case in the past and problems so caused have raised serious concern. The purpose of this document is to

- give clear definitions for the individual characteristics which can be used for evaluating the performance of broadband UV radiometers;
- recommend methods for the characterization of these radiometers;
- recommend methods for the calibration of these radiometers;
- provide guidelines for the selection and correct use of these radiometers.

This document may be used as a guide for

- manufacturers, in developing good quality UV radiometers;
- calibration laboratories, in performing calibration of these radiometers in a standardized and comparable way;
- users, in the appropriate use of these radiometers to get correct and consistent measurement results for their applications.

For manufacturers and advanced laboratories which are performing a rigorous calibration on a UV radiometer, this document specifies in 6.4 how to perform a full calibration. For public testing laboratories Clause 6.5 specifies how to perform a limited calibration on a UV radiometer for industrial purposes.

1.2 Scope

The UV radiometers considered in this document are restricted to those designed for the wavelength range from 200 nm to 400 nm, i.e. in the spectral bands of UV-A (315 nm to 400 nm), UV-B (280 nm to 315 nm) and part of UV-C (200 nm to 280 nm). The radiation to be measured is also restricted to that from artificial UV sources only. Radiometers used for solar UV measurement are excluded since many additional requirements are important due to the special features of the source (the sun) and changing environmental, weather and geometrical conditions often encountered during measurements. There are already other parties such as the World Meteorological Organization dealing with this issue.

NOTE 1 Although some UV radiometers work outside of the specific ranges defined above, they can be treated in the same way as discussed in this document.

NOTE 2 Spectrally resolving instruments like spectroradiometers are not discussed in this document but will be dealt with in a future CIE Technical Report, currently prepared by CIE TC 2-51.

2 Definitions (General)

For the purposes of this document the following terms and definitions, partly adopted from the ILV (CIE, 2011a), apply.

2.1 radiometer

instrument for measuring radiometric quantities

[SOURCE: CIE S 017/E:2011, term 17-1031]