



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

ISBN 978-3-902842-25-1

DOI: 10.25039/TR.235.2019

# TECHNICAL REPORT

## Optical Measurement of LED Modules and Light Engines

**CIE 235:2019**

---

UDC: 535.24  
535.243

Descriptor: Photometry  
Spectrophotometry

## 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 six 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 six 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 den 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 sechs Divisionen organisiert sind. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtenwendung. 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 978-3-902842-25-1

DOI: 10.25039/TR.235.2019

# TECHNICAL REPORT

## Optical Measurement of LED Modules and Light Engines

**CIE 235:2019**

UDC: 535.24  
535.243

Descriptor: Photometry  
Spectrophotometry

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee (TC) 2-50 of Division 2 "Physical Measurement of Light and Radiation" and has been approved by the Board of Administration and by Division 2 of the Commission Internationale de l'Éclairage. The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by all with an interest in excellence in light and lighting. The information provided here is advisory, and not mandatory.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique (TC) 2-50 de la CIE 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'Éclairage. 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 tous ceux qui s'intéressent à l'excellence de la lumière et de l'éclairage. Les informations fournies ici sont données à titre indicatif et non obligatoire.

Dieser Technische Bericht ist vom Technischen Komitee (TC) 2-50 der CIE Division 2 "Physikalische Messungen von Licht und Strahlung" ausgearbeitet und vom Vorstand sowie Division 2 der Commission Internationale de l'Éclairage 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 alle an Licht- und Beleuchtungsqualität Interessierte bestimmt. Die in diesem Dokument gegebenen Informationen sind eine Empfehlung und keine Vorschrift.

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 2-50 “Measurement of the optical properties of LED assemblies“ took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 2 “Physical measurement of light and radiation”.

Authors:

**Distl, R. (Chair)**

Schütte, J. (former chair)

Sauter, G. (former chair)

Bergen, A.

Goodman, T.

Poppe, A.

Schakel, M.

Sperling, A.

Young, R.

Zong, Y.

**Germany**

Germany

Germany

Australia

United Kingdom

Hungary

Netherlands

Germany

United Kingdom

USA

Advisors:

Chou, P.-T.

Ohno, Y.

Oshima, K.

Schanda, J. †

Chinese Taipei

USA

Japan

Hungary

## CONTENTS

Summary .....	vi
Résumé .....	vi
Zusammenfassung .....	vi
1 Introduction .....	1
1.1 Scope .....	1
1.2 Purpose of this report .....	1
2 Terminology .....	1
3 Measurement conditions .....	2
3.1 Environmental conditions .....	2
3.1.1 Ambient temperature, $T_{amb}$ .....	2
3.1.2 Test-point temperature, $T_p$ .....	2
3.1.3 Air flow .....	4
3.1.4 Operational orientation .....	4
3.1.5 Ambient and stray light .....	5
3.2 Power supply and control equipment .....	5
3.2.1 Effect of electrical driving conditions on optical measurements .....	5
3.2.1.1 DC operation .....	6
3.2.1.2 AC operation .....	6
3.2.1.3 Modulated operation .....	6
3.3 Pre-measurement precautions .....	7
3.3.1 LED module seasoning .....	7
3.3.2 LED module stabilization .....	8
3.3.3 Measurement equipment .....	8
4 Measurement types .....	9
4.1 Luminous intensity (of a source in a given direction) .....	9
4.1.1 The geometric/mechanical reference point on an LED module .....	10
4.1.2 Far-field measurements .....	11
4.1.3 Detector cosine response .....	11
4.2 Luminous intensity distribution .....	11
4.2.1 Coordinate system .....	12
4.2.1.1 (A, $\alpha$ ) coordinate system .....	13
4.2.1.2 (B, $\beta$ ) coordinate system .....	14
4.2.1.3 (C, $\gamma$ ) coordinate system in horizontal arrangement .....	15
4.3 Total luminous flux .....	16
4.3.1 Numerical integration method .....	17
4.3.2 Integrating sphere method .....	17
4.3.2.1 Measurements at the centre of the sphere ( $4\pi$ geometry) .....	18
4.3.2.2 Measurements at a sphere port ( $2\pi$ geometry) .....	18
4.4 Partial luminous flux .....	19
4.5 Luminance .....	20
4.5.1 Multiple emission centres of LED modules .....	20
4.5.2 Average luminance of an LED module .....	21
4.5.2.1 Luminous intensity measurement method .....	21
4.5.2.2 Imaging photometer method .....	22

5	Colorimetric quantities .....	23
5.1	Angle dependence .....	23
5.2	Non-uniformity .....	23
6	Traceability and measurement uncertainty .....	23
6.1	Traceability .....	23
6.2	Measurement uncertainty.....	23
6.2.1	Contributions from non-perfect instruments.....	24
6.2.2	Contributions from environmental conditions.....	25
6.2.3	Measurement models .....	25
Annex A	.....	28
A.1	Examples of LED modules .....	28
A.2	Examples of LED light engines.....	29
A.3	Temperature distribution within an integrating sphere.....	29
A.4	Examples of luminous intensity distributions.....	30
References	.....	31

## OPTICAL MEASUREMENT OF LED MODULES AND LIGHT ENGINES

### Summary

LED modules and light engines represent a wide range of very different products with unique physical properties. Thus, they can neither be treated as single LED packages (where measurements refer to a specific junction temperature of a single LED or the average of a single die, multiple-junction LED) nor as complete lamps or luminaires (where measurements refer to the ambient temperature).

This Technical Report describes the methods for the measurement of photometric, radiometric, and colorimetric quantities of LED modules (with or without integrated control gear) and light engines that are connected to DC or AC power supplies. The report specifies the test-point temperature as a temperature reference when taking measurements.

## MESURES OPTIQUES DES MODULES ET MOTEURS LUMINEUX À LED

### Résumé

Les modules et moteurs lumineux à LED représentent une large gamme de produits avec des propriétés physiques uniques et spécifiques. Ils ne peuvent pas être traités comme de simples assemblages LED (où les mesures se réfèrent à la température de jonction d'une LED seule ou à la moyenne d'une matrice de LED), pas même qu'ils ne peuvent être considérés comme des lampes ou luminaires (où les mesures se réfèrent à la température ambiante).

Ce rapport technique décrit les méthodes à suivre pour les mesures de grandeurs photométriques, radiométriques et colorimétriques de modules LED (avec ou sans ballast intégré) et des moteurs lumineux à LED, connectés à des alimentations de puissance alternatives ou continues. Le rapport spécifie à quel emplacement doit être prise la température de référence lorsque l'on réalise la mesure.

## OPTISCHE MESSUNGEN AN LED MODULEN UND LIGHT ENGINES

### Zusammenfassung

LED-Module und Light Engines betreffen eine Vielzahl von unterschiedlichen Produkten mit besonderen physikalischen Eigenschaften. Messtechnisch können sie weder so behandelt werden wie einzelne LEDs (bei denen sich Messungen auf eine bestimmte Sperrschichttemperatur eines einzelnen LED oder dem Mittelwert einer Multi-Junction LED beziehen) noch so wie komplette Lampen oder Leuchten (bei denen die Umgebungstemperatur als Bezugswert dient).

Dieser technische Bericht beschreibt die Messverfahren für photometrische, radiometrische und farbmetrische Größen von LED-Modulen (mit oder ohne integrierte Elektronik) sowie Light Engines, die an eine Gleich- oder Wechselstromversorgung angeschlossen werden. In dem Bericht wird die Testpunkt-Temperatur als Temperaturreferenz für die Messungen verwendet.

## 1 Introduction

### 1.1 Scope

This Technical Report describes methods for the measurement of optical properties of LED modules (with or without integrated control gear) and LED light engines that are connected to DC or AC power supplies. The report includes both continuous operation and also modulated operation where the modulation is fast enough to give the appearance of steady emission. It covers, for example, devices intended for use in lamps and luminaires, signals, signs, backlights and static displays. Both planar and non-planar sources are included. Measurement methods specific to dynamic displays containing video information, flashing lights and devices operated in asynchronous mode are not within the scope of this report.

In particular, this Technical Report deals with all LED products that comprise multiple dice or packages, and/or LED products of which the forward voltage,  $U_F$ , of a single LED is not accessible, or does not characterize an average junction temperature,  $T_J$ , in case of multiple dice.

This document does not cover single-diode LED packages and single-die, multiple-junction LED packages. Appropriate methods for the measurement of these products are described in the CIE publications 225 (CIE 2017a) using the DC method and 226 (CIE 2017b) using the pulse method. Measurements of LED luminaires and LED lamps are also not covered in this document; such measurements are described in CIE S 025 (CIE 2015a).

LED modules and LED light engines containing chip-on-board (COB) LED arrays, where multiple LED dice or surface-mounted device (SMD) LEDs are packaged onto a single metal-core printed-circuit board (PCB) or ceramic board, can be measured according to this Technical Report if there is an on-board thermistor or a temperature reference point is specified for measuring the test-point temperature,  $T_p$ . Such products can also be measured using the methods described in CIE publications 225 (CIE 2017a) and 226 (CIE 2017b) provided that a single forward voltage,  $U_F$ , characterizes an average junction temperature,  $T_J$ , of all junctions.

### 1.2 Purpose of this report

This report is intended for laboratory measurements of photometric, radiometric, and colorimetric quantities with a focus on minimizing measurement uncertainties. To avoid limiting technical developments this report is kept as general as possible while providing guidance for reproducible measurement. For production testing, it is the responsibility of the manufacturers and users to ensure that, after obtaining well characterized working standards from their laboratory, the test set-up used for production control will be adequate for proper measurement of the defined quantities. The deviations from laboratory measurement conditions and possible sources of error have to be carefully examined when the test equipment is designed and installed.

## 2 Terminology

It is advised to refer to the International Lighting Vocabulary (ILV) (CIE 2016) for all general terms and definitions. CIE S 017-SP1/E:2015 (CIE 2015b) contains the following additional terms and their definitions relevant to this report.

### LED light engine

#### light engine

Integrated assembly or set consisting of LED module(s) and LED control gear for direct connection to the electrical supply system

Note 1 to entry: An LED light engine typically shall have defined electrical, mechanical, thermal and control interfaces, and specific photometric properties.

Note 2 to entry: An LED light engine may incorporate a heat sink or not.