



ISBN 978 3 901906 92 3

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

**ON SITE MEASUREMENT OF THE
PHOTOMETRIC PROPERTIES OF
ROAD AND TUNNEL LIGHTING**

CIE 194:2011

UDC: 628.971.6
628.971.6:624.19

Descriptor: Street lighting (fixed)
Lighting of tunnels

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organisation 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 organisations concerned with matters related to the science, technology, standardisation and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried on by seven Divisions each with about 20 Technical Committees. 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 reviewed, reported and plans are made for the future. The CIE is recognised as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organisations.

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 7 Divisions, ayant chacune environ 20 Comités Techniques. 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 internationaler Mittelpunkt 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 in 7 Divisionen, jede mit etwa 20 Technischen Komitees, geleistet. 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 von der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft, berichtet und 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
Kegelgasse 27, A-1030 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87 0, Fax: +43(1)714 31 87 18
e-mail: ciecb@cie.co.at
WWW: <http://www.cie.co.at/>

© CIE 2011 - All rights reserved



ISBN 978 3 901906 92 3

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

**ON SITE MEASUREMENT OF THE
PHOTOMETRIC PROPERTIES OF
ROAD AND TUNNEL LIGHTING**

CIE 194:2011

UDC: 628.971.6
628.971.6:624.19

Descriptor: Street lighting (fixed)
Lighting of tunnels

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 4-26 of Division 4 "Lighting and Signalling for Transport" and has been approved by the Board of Administration 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 4-26 de la Division 4 "Eclairage et signalisation pour les transports" et a été approuvé par le Bureau 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 4-26 der Division 4 "Beleuchtung und Signale für den Verkehr" ausgearbeitet und vom Vorstand 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 organisations 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, ist es möglich, dass diese nicht vollständig sind.

The following members of TC 4-26 “Systems for Measurement of Photometric Quantities of Road Lighting Installations” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 4 “Lighting and Signalling for Transport”.

Members:

S. Almasi	Hungary	
P. Blaser	Switzerland	(1991-2003)
P. Blattner	Switzerland	(2005)
A. Blochouse	Belgium	
C. Brusque	France	(1994-2001)
E. C. Burini Junior	Brazil	(2005)
C. Chain	France	(2005)
J.S. Dubuisson	France	
G. Eslinger	USA	(1991-2003)
J. Hozumi	Japan	
H. Legillon	France	(1991-1994)
I. Lewin	USA	(1992-2003)
W. Riemenschneider †	Switzerland	(1991-2003)
G. Rossi	Italy	(Chair)
H.-J. Schmidt-Clausen	Germany	

Advisors:

A. Augdal	Norway
M.E. Keck	USA
S. Sakamoto	Japan
D. Schreuder	Netherlands

CONTENTS

SUMMARY	VI
RESUME	VI
ZUSAMMENFASSUNG	VII
1 INTRODUCTION	1
1.1 Preamble	1
1.2 The Need for On Site Photometric Measurements of Road Lighting	1
1.3 Automatic Measurement Systems	3
1.4 Organisation of the Guide	4
2 DEFINITIONS	5
3 REVIEW OF ESSENTIAL PHOTOMETRIC QUANTITIES	21
3.1 The Physical Definition of a Quantity and its Measurements	21
3.2 The Measurable Photometric Quantities and Parameters to Adequately Describe and Specify a Lighting System	21
3.3 Field Measurable Photometric Quantities to Adequately Describe and Specify a Lighted Environment	23
3.3.1 The Possibility of Introducing New Parameters	23
3.3.2 Partial Evaluation	25
3.3.3 Extended Uniformity	25
3.3.4 The Problem of Vehicle Translation during Measurement	27
3.3.5 Symbols and Abbreviations	28
4 WEATHER AND OTHER ENVIRONMENTAL INFLUENCES	28
5 MEASUREMENT UNCERTAINTY	29
5.1 Theory	29
5.1.1 Preliminary Considerations	29
5.1.2 Procedure for the Expression of Uncertainty	30
5.1.3 Modelling the Measurement Procedure	31
5.1.4 Input Quantities Measurement	32
5.1.5 Output Quantity Measurement	32
5.1.6 Determining Expanded Uncertainty	32
5.1.7 Reporting Uncertainty	33
5.2 Practical Considerations	34
6 MEASUREMENT OF ROAD LUMINANCE	37
6.1 Dynamic and Static Measurement Systems	37
6.2 The Imaging Luminance Measurement Device (ILMD)	38
6.2.1 Optical Theory of the ILMD	38
6.2.2 The Shutter Influence	39
6.2.3 Calibration Methodologies	41
6.3 Photometric Characterization of ILMD	43
6.3.1 Linearity and Acquisition Range	44

6.3.2	Pixel Saturation in the Framed Field	45
6.3.3	Noise and Dark-Frame	46
6.3.4	Directional Responsivity and Detector Uniformity	49
6.3.5	Lens Focalization	49
6.3.6	Luminous Sources External to the Framed Environment	50
6.3.7	Ghost Images	51
6.3.8	Measurement Repeatability	51
6.4	Measurement Uncertainty	52
6.4.1	Sources of Uncertainty	52
6.4.2	Evaluation of Point Luminance Uncertainty	54
7	MEASUREMENT OF ROAD ILLUMINANCE	55
7.1	Measurement Methodologies	55
7.2	Measurement Geometry	57
7.2.1	Preliminary Considerations	57
7.2.2	Definition of Point Co-ordinates	61
7.2.3	Average Illuminance on a Finite Surface	61
7.3	System Requirements	66
7.3.1	Measurement of the Longitudinal Co-ordinate	66
7.3.2	Time Constants	67
7.3.3	Influence of Traffic	69
7.3.4	The Influence of the Headlamps of the Measuring Vehicle.	69
7.4	Trailer System	70
7.4.1	System Description	70
7.4.2	System Design Parameters	70
7.5	Split-Detector System	72
7.5.1	System Description	72
7.5.2	Detector Design and Directional Responsivity Evaluation	72
7.5.2.1	The Nominal Directional Responsivity Curve	72
7.5.2.2	The Real Directional Responsivity Curve	74
7.5.2.3	Other Sources of Uncertainty	77
7.5.3	Detector Calibration	78
7.5.4	Evaluation of the Total Illuminance Value	78
7.6	Measurement Uncertainty	80
8	REFERENCES	82

ON SITE MEASUREMENT OF THE PHOTOMETRIC PROPERTIES OF ROAD AND TUNNEL LIGHTING

SUMMARY

This Technical Report gives the information which designers and users of automatic systems intended to measure the photometric properties of road and tunnel lighting systems need in order to understand the performance of such systems. The main aim of this guide is to clearly define and describe the technical limitations and characteristics of these measurement systems. In this way the advantages and disadvantages of the technical solutions adopted in different systems can be assessed. Their measurement uncertainty can be evaluated and discrepancies understood when the measurement results are compared with those obtained by manual systems or by theoretical evaluations from mathematical algorithms and/or computer simulations. The guide concentrates on systems that measure horizontal illuminance and luminance on road surfaces, but much of the guidance is relevant to other quantities and measurement conditions, too. The guide is divided into two parts:

- Review of essential photometric quantities where differences between their physical or normative definition, their mathematical evaluation and their measurable approximation are highlighted (Clause 2 and Clause 3);
- Review of the types and characteristics of instruments, the conditions and methodologies of measurements, the evaluation of uncertainty in measurement results and data elaboration (Clause 5, Clause 6 and Clause 7).

SYSTEMES DE MESURES SUR SITE DES PROPRIETES PHOTOMETRIQUES DES INSTALLATIONS D'ECLAIRAGE DES ROUTES ET TUNNELS

RESUME

Ce rapport technique apporte l'information nécessaire aux concepteurs et utilisateurs des outils de métrologie dynamique pour la mesure des propriétés photométriques des installations d'éclairage des routes et tunnels. Le principal objectif de ce guide est de définir précisément et de décrire les limites techniques et les caractéristiques de ces outils de mesures. Ainsi, les avantages et inconvénients des solutions techniques adoptées par les différents systèmes de mesures peuvent être évalués. Leur(s) incertitudes sur les mesures peut(vent) être évaluées; les écarts avec les mesures statiques ou les évaluations théoriques issues des algorithmes mathématiques et/ou les outils de simulation sur ordinateur peuvent également être comprises. Le guide se limite aux instruments de mesures des éclairagements horizontaux et des luminances sur la chaussée, mais une grande partie des informations peut s'appliquer aussi à d'autres grandeurs et conditions expérimentales. Le guide est composé de deux parties:

- Recensement des grandeurs photométriques principales pour lesquelles les différences entre leur définition physique ou normative, leur évaluation mathématique et leur détermination au moyen de mesures sont mises en évidence (sections 2 et 3);
- Recensement des types et caractéristiques des instruments, des conditions et méthodologies expérimentales, des évaluations des incertitudes sur les mesures et sur les détermination des paramètres qui en découlent (sections 5, 6 et 7).

SYSTEME ZUR VORORTMESSUNG DER PHOTOMETRISCHEN EIGENSCHAFTEN VON STRASSEN- UND TUNNELBELEUCHTUNG

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Technische Bericht liefert Informationen, die Planer und Nutzer automatischer Systeme zur Messung photometrischer Eigenschaften von Straßen- und Tunnelbeleuchtungsanlagen benötigen, um die Leistungsmerkmale solcher Systeme zu verstehen. Hauptsächliches Ziel dieses Leitfadens ist die Definition und Beschreibung der technischen Grenzen und Eigenschaften dieser Messsysteme. Auf diese Weise können Vor- und Nachteile der in verschiedenen Systemen eingesetzten technischen Lösungen abgeschätzt werden. Ihre Messunsicherheit kann bewertet werden, und Abweichungen können nachvollzogen werden, wenn die Messergebnisse mit denen von manuellen Systemen oder theoretischen Berechnungsergebnissen über mathematische Algorithmen und/oder Computersimulationen verglichen werden. Der Leitfaden konzentriert sich auf Systeme, die horizontale Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten auf Straßenoberflächen messen, ein Großteil der Anleitung bezieht sich aber auch auf andere Größen und Messbedingungen. Der Leitfaden ist in zwei Abschnitte unterteilt:

- Überblick über grundlegende photometrische Größen, wobei Unterschiede zwischen ihrer physikalischen und normativen Definition, ihrer mathematischen Bewertung und ihrer messbaren Approximation herausgestellt werden (Kapitel 2 und Kapitel 3);
- Überblick über Typen und Eigenschaften von Instrumenten, Messbedingungen und -methodiken, Bewertung der Ergebnisunsicherheit und Datenauswertung (Kapitel 5, Kapitel 6 und Kapitel 7).

1 INTRODUCTION

1.1 Preamble

The TC 4-26 "Systems for Measurement of Photometric Quantities of Road Lighting Installations" was activated in 1991 with the following terms of reference:

"To produce a guide to automatic measurement systems for the metrological characteristics of road and tunnel lighting"

and the following working programme:

- To review the automatic measurement systems currently being used or developed.
- To review the essential photometric quantities required from an automatic measurement system to adequately describe or specify a lighting system.
- To produce a "Guide" to enable automatic measurement systems to be specified.

The TC was formed in response to the growing need to describe the technical limitations and/or improvements in specially designed automatic static and mobile measurement systems for the on site photometric measurement of road and tunnel lighting .

The formation of this TC was justified by several reasons. The most important is that today automatic measurement systems are able to carry out the analysis of the performance of a lighting system with a large number of measurement points or directions of observation.

In contrast, the parameters or photometric quantities normally used to characterise a road lighting installation are defined with regard to the limitations of manual measurement systems and thus with a limited number of measurement points. Therefore these parameters should be reviewed, and specifications and procedures should be provided to evaluate the uncertainty of the measurements obtained with automatic systems.

The TC was not involved in the definition of the necessary parameters or techniques to characterise a particular photo-detector from the photometric point of view. However, the TC was interested in the measurement problems arising when that detector is used to characterise a lighting system, i.e. the acceptable accuracy, the geometrical measurement conditions, the elaboration algorithm of the measured data, etc.

At the beginning of its activity the TC tried to consider in this guide all the types of measurement and characterisation for lighting engineering that a particular automatic system can carry out in a road, from illuminance on the road surface to glare or road markings. However, during the period of activity of the TC, many of international and national standards were in a process of change, and due to the desire to complete the guide within a reasonable time, it was decided that the report should only consider systems for measuring road surface and tunnel wall illuminance and luminance.

The systems not considered here will eventually be dealt with in another report, but some of the general information in the first part of this guide is relevant for these systems.

1.2 The Need for On Site Photometric Measurements of Road Lighting

The need to perform on site photometric measurements of road lighting systems has increased through the years with the simultaneous development of standards and the increase in the level of technical sophistication of lighting systems.

One or more of the following measurements are often carried out:

- a) in the final testing phase, to verify the correlation between the system performance and the design values, and for its formal approval;
- b) at pre-determined intervals during the system lifetime, to quantify the degradation of the lighting performance and to define the need for maintenance action;
- c) continually, in systems capable of regulating the illumination conditions as a function of measurable photometric parameters of interest (e.g. internal level of illumination as a function of outside luminance in tunnel entrance);