

ISBN 978 963 7251 23 8



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

TECHNICAL REPORT

**THE SPECTRORADIOMETRIC
MEASUREMENT OF LIGHT SOURCES**

CIE 63-1984

Photocopy Edition 1999

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.

Tagungen werden alle vier Jahre abgehalten, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft und 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(01)714 31 87 0, Fax: +43(01)714 31 87 18
e-mail: ciecb@cie.co.at
WWW: <http://www.cie.co.at>

ISBN 978 963 7251 23 8



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

TECHNICAL REPORT

**THE SPECTRORADIOMETRIC
MEASUREMENT OF LIGHT SOURCES**

CIE 63-1984

Photocopy Edition 1999

This report has been prepared by CIE Technical Committee 1.2, Photometry and Radiometry. It has been approved by the majority of the Technical Committee and is recommended for study and application. This report is not an Officially Agreed CIE Recommendation approved by the National Committees of the Member Countries of the CIE. It should be noted that any recommendations in this report are advisory and not mandatory. The latest CIE Proceedings or CIE Journal should be consulted regarding the current status of this report and possible subsequent amendments.

Ce rapport a été préparé par le Comité Technique 1.2, Photométrie et Radiométrie de la CIE. Il a été approuvé par la majorité du Comité Technique et il est recommandé pour étude et application. Ce rapport n'est pas une Recommandation officielle de la CIE, approuvée par les Comités Nationaux des Pays Membres de la CIE. Il doit être noté que toute recommandation y figurant est donnée à titre de conseil et non d'obligation. En ce qui concerne la situation présente de ce Rapport et d'éventuelles modifications, il faut consulter le plus récent Compte Rendu de Session ou Journal de la CIE.

Dieser Bericht wurde vom Technischen-Komitee 1.2, Photometrie und Strahlungsmessung der CIE. Er wurde durch die Mehrheit des Technischen Komitees gebilligt und wird zum Studium and zur Anwendung empfohlen. Dieser Bericht ist keine offiziell anerkannte CIE-Empfehlung, der die Nationalen Komitees der Mitgliedsländer der CIE zugestimmt haben. Es sei darauf hingewiesen, dass jede Empfehlung in diesen Bericht als Anleitung dient und nicht verbindlich ist. Was den gegenwärtigen Status dieses Berichtes und mögliche Nachfolge-Ausgaben angeht, ziehe man die neuesten CIE-Tagungsberichte oder das CIE-Journal zu Rate.

© CIE 1984

FOREWORD

This technical report has been prepared by CIE Technical Committee 1.2 Photometry and Radiometry as part of its working programme. The Members of the Committee and Consultants during the period of preparation (1973-1983) are listed below.

Chairman

C L SANDERS¹⁾, F ROTTER²⁾

Members

W R BLEVIN	Australia
F ROTTER	Austria
L MORREN ¹⁾ , M G VANDERMEERSCH ²⁾	Belgium
M DODOVA	Bulgaria
C L SANDERS ¹⁾	Canada
J KRTEL	Czechoslovakia
V KOP	Denmark
T TIMONEN	Finland
J BASTIE	France
S NÜNDEL	German Democratic Republic
G BAUER ¹⁾ , D HAHN ²⁾	Germany, Federal Republic
O C JONES ³⁾ , J R MOORE ⁴⁾	Great Britain
M POPPE	Hungary
D PELLI ⁵⁾ , G DEITCH ⁶⁾	Israel
C GENTILE	Italy
M SUZUKI	Japan
M KOEDAM	Netherlands
B HISDAL	Norway
W STANIOCH	Poland
G ISPASQIU	Rumania
C J KOK ⁵⁾ , F HENGSTBERGER ⁶⁾	South Africa
A CORRONS	Spain
L LIEDQUIST	Sweden
P BLASER	Switzerland
J J RENNILSON	USA
V E KARTASHEVSKAYA ⁵⁾ , M MATVEEV ⁶⁾	USSR
N PETROVIC	Yugoslavia

Consultants

W BUDE	Canada
J BONHOURE	France
J KROCHMANN	Germany
E J GILLHAM, M B HALSTEAD	Great Britain
J SCHANDA	Hungary
J J de GROOT	Netherlands
F WATSON, E F ZALEWSKI	USA

1) up to 1979
2) from 1980

3) up to 1980
4) from 1981

5) up to 1981
6) from 1982

SUMMARY

The CIE, and other organisations, have in the past organised international comparisons of measurements of the spectral power distribution of various light sources, including fluorescent tubes. In these investigations some unexpectedly large differences were found between the results reported by different laboratories.

It was the consensus of the members of the CIE TC-1.2 Committee that before further large scale international comparisons of measurements were organised, a method (or a few basic methods) should be agreed upon that could result in better accuracy and hence closer agreement between the measurements of the participating laboratories and that could also serve as a guide for anyone wishing to set up new spectroradiometric laboratories.

The present report summarizes the opinions on this subject of the members of a Subcommittee who answered a questionnaire sent out by the Chairman of TC-1.2. It is designed primarily to assist workers in industrial standards laboratories, although it is not intended for use as a textbook. Its contents should not be interpreted so as in any way to inhibit research into new and improved methods of spectroradiometry.

This Technical Report is divided into two parts, the first of which covers in a general way the use of a spectroradiometer in measuring the spectral power distribution of any type of source, with particular reference to the determination of photometric and colorimetric properties. The second part relates to the measurement of various lamp types, particularly tubular fluorescent lamps. It is envisaged that further parts could be added, if required, to extend the coverage of the document to other types of source.

RÉSUMÉ

La CIE, ainsi que d'autres organisations, ont organisé au cours des années passées des comparaisons internationales portant sur la répartition énergétique spectrale de diverses sources lumineuses, dont des tubes fluorescents. Lors de ces études, des écarts importants et inattendus sont apparus entre les résultats des différents laboratoires.

Il y eut alors unanimité au sein des membres du Comité TC-1.2 de la CIE pour que, avant l'organisation de nouvelles comparaisons internationales sur une plus large échelle, il soit convenu d'une méthode de mesure (ou quelques principes de base) conduisant à une plus grande exactitude, donc à un meilleur accord entre les résultats des laboratoires participants; cette méthode de mesure pourrait aussi servir de guide pour quiconque souhaiterait installer de nouveaux laboratoires de mesures spectroradiométriques.

Le présent rapport résume les points de vue sur ce sujet des membres du Sous-Comité qui ont répondu au questionnaire établi par le Président du TC-1.2. Ce rapport est essentiellement destiné à aider les chercheurs des laboratoires d'étalonnage industriels, sans qu'il puisse être utilisé comme un manuel. En aucun cas, la façon d'interpréter son contenu ne devrait avoir pour conséquence d'interdire la recherche de méthodes nouvelles et améliorées de spectroradiométrie.

Ce Rapport technique est divisé en deux parties. La première concerne, de façon générale, l'emploi d'un spectroradiomètre pour la mesure de la répartition énergétique spectrale d'un type quelconque de source lumineuse, avec une considération particulière pour la détermination des propriétés photométriques et colorimétriques. La deuxième partie concerne la mesure de divers types de lampes, en particulier les tubes fluorescents. On envisage d'ajouter plus tard en cas de besoin d'autres chapitres pour étendre le document à d'autres types de sources.

ZUSAMMENFASSUNG

Die CIE und andere Organisationen haben in der Vergangenheit internationale Vergleiche der Messungen der spektralen Strahlungsverteilung von verschiedenen Lichtquellen, einschliesslich von Fluoreszenzlampen durchgeführt. In diesen Untersuchungen wurden unerwartet grosse Differenzen zwischen den Werten gefunden, die die verschiedenen Laboratorien berichtet haben.

Die Mitglieder des CIE-Komitees TC-1.2 waren übereinstimmend der Meinung, dass keine weiteren internationalen Vergleichsmessungen grossen Umfanges organisiert werden sollten, solange nicht über eine oder mehrere grundlegende Methoden Übereinstimmung erzielt wäre, die eine bessere Genauigkeit ergeben und somit auch eine engere Übereinstimmung zwischen den Messungen der teilnehmenden Laboratorien.

Diese Methoden könnten auch als Leitfaden für jeden dienen, der beabsichtigt, neue spektroradiometrische Laboratorien zu errichten. Der vorliegende Bericht fasst die Meinungen derjenigen Subkomiteemitglieder zu diesem Gegenstand zusammen, die einen Fragebogen beantwortet haben, den der Vorsitzende von TC-1.2 ausgesendet hatte. Der Bericht ist in erster Linie dazu bestimmt, den in industriellen Messlaboratorien Tätigen zu nützen, obwohl er nicht als Lehrbuch gedacht ist. Sein Inhalt sollte nicht so verstanden werden, dass er in irgendeiner Weise Forschungen über neue und verbesserte Methoden der Spektroradiometrie behindern könnte.

Dieser technische Bericht besteht aus zwei Teilen, von denen der erste die Verwendung eines Spektroradiometers zur Messung der spektralen Strahlungsverteilung beliebiger Lichtquellen in allgemeiner Weise behandelt, mit besonderer Berücksichtigung der Bestimmung von photometrischen und farbmtrischen Eigenschaften. Der zweite Teil behandelt die Messung von verschiedenen Lampentypen, besonders von röhrenförmigen Leuchtstofflampen. Es ist vorgesehen, weitere Kapitel bei Bedarf später hinzuzufügen, um den Anwendungsbereich des Dokumentes auf andere Arten von Lichtquellen auszudehnen.

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION		9
	Purpose of the report	10
	Terminology	10
PART 1	THE SPECTRORADIOMETER AND ITS METHOD OF USE	12
	1.1. Basic elements of a spectroradiometric system	12
	1.2. Measurement of spectral irradiance	12
	1.3. Measurement of spectral radiance and total flux	14
	1.4. Input optical arrangement	16
	1.5. Characteristics of monochromators	20
	1.6. Detector and measuring system	23
	1.7. Standard sources	29
	1.8. Methods of measurement	29
	1.9. Error analysis	42
	1.10. Accuracy requirements	44
APPENDIX 1A	BASIC PRINCIPLES OF SPECTRORADIOMETRY	46
	1A.1. Introduction	46
	1A.2. Measurement of continuum radiation	47
	1A.3. Measurement of line radiation	48
	1A.4. Measurement of bandwidth	49
	1A.5. Measurement of spectrum	50
	1A.6. Experimental determination of $f(\lambda_s)$	52
PART 2	PROCEDURE FOR THE MEASUREMENT OF VARIOUS TYPES OF LAMP	55
	2.1. Tungsten lamps	55
	2.2. Tubular fluorescent lamps	58
REFERENCES		62
BIBLIOGRAPHY		64

INTRODUCTION

There are basically two approaches to the measurement of the photometric and colorimetric properties of sources:

- (i) Broad-band measurement, either with a detector, the spectral responsivity function of which is in accord with the CIE Standard Photometric Observer for photopic or scotopic vision, or with a tristimulus colorimeter whose spectral responsivity functions correspond to those of the CIE 1931 Colorimetric Observer or are a linear transformation of them. These methods will be referred to in this report as broad-band.
- (ii) Spectroradiometric measurement of the spectral power distribution of the light source.

It is difficult to adjust the relative spectral responsivity of detectors to match the CIE photometric and colorimetric observers, and in any case, for some other characteristics of light sources a knowledge of the spectral power distribution itself is needed at least in a relative form (e.g. for colour rendering index determination). When spectral measurements are directed towards the calculation of photometric quantities, the spectral power distribution has to be measured in such a way that an absolute value can be assigned to the integrated spectral characteristic.

In dealing with measurements of this type, it must be realized that if a spectroradiometric measurement is to give meaningful photometric and colorimetric results the measuring set-up, the individual components of the measuring system and the technique employed have to satisfy some quite stringent criteria.

The present report emphasises those elements of the spectroradiometric system and measurement technique that are important for the achievement of a result of acceptable accuracy. A paper on the measurement of spectral irradiance (Nonaka et al., 1972) was used as starting point in this work and the suggestions received from members of the Subcommittee on the Spectroradiometric Measurement of Light Sources were then added to the report - as far as the individual responses were not too contradictory to the consensus of the majority.