



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

ISBN 978-3-902842-73-2

DOI: 10.25039/TR.254.2024

TECHNICAL REPORT

**A roadmap toward basing CIE
colorimetry on cone fundamentals**

CIE 254:2024

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'Éclairage (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 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 sechs 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

© CIE 2024 - All rights reserved



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

ISBN 978-3-902842-73-2

DOI: 10.25039/TR.254.2024

TECHNICAL REPORT

**A roadmap toward basing CIE
colorimetry on cone fundamentals**

CIE 254:2024

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee (TC) 1-98 of Division 1 "Vision and Colour" and has been approved by the Technical Management Board and Division 1 of the Commission Internationale de l'Eclairage. 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) 1-98 de la CIE Division 1 "Vision et Couleur" et a été approuvé par le Technical Management Board et Division 1 de la Commission Internationale de l'Eclairage. 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) 1-98 der CIE Division 1 "Sehen und Farbe" ausgearbeitet und vom Technical Management Board sowie Division 1 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 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 members¹ of TC 1-98 “A Roadmap Toward Basing CIE Colorimetry on Cone Fundamentals” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 1 “Vision and Colour”.

Authors:

Whitehead, L. (Chair)

Andersen, C.F.
 Derhak, M
 Kim, Y.J.
 Youngshin, K.
 Melgosa, M.
 Mizokami, Y.
 Morimoto, T.
 Ohno, Y.
 Pointer, M.R.
 Smet, K
 Spitschan, M.
 Teunissen, C.
 Wold, J.H.
 Yoo, J.J.

Canada

Norway
 USA
 Korea (the Republic of)
 Korea (the Republic of)
 Spain
 Japan
 Japan
 USA
 United Kingdom
 Belgium
 Germany
 The Netherlands
 Norway
 Korea (the Republic of)

Advisors:

Akhaven, T
 Farup, I.
 Jost, S.
 Webster, M

Canada
 Norway
 France
 USA

¹ Details for distinction between Authors and Advisors see Code of Procedure, 6.1.2.

CONTENTS

Summary	viii
Résumé	viii
Zusammenfassung	viii
1 Introduction.....	1
1.1 Overview of this introductory clause	1
1.2 Summary of Clause 2.....	2
1.3 Summary of Clause 3.....	2
1.4 Summary of Clause 4.....	2
1.5 Summary of Clause 5.....	2
1.6 Summary of Clause 6.....	3
1.7 Summary of Clause 7.....	3
1.8 Summary of Clause 8.....	3
2 Origin of the CIE XYZ system and why it is time for an LMS system	4
3 A survey of current CIE publications employing the XYZ-based system.....	7
3.1 Introduction	7
3.2 ISO/CIE documents that are relevant to this Technical Report	7
3.3 CIE Technical Reports that are relevant to this Technical Report	8
4 LMS-based colorimetric measures similar to the XYZ system.....	9
4.1 Introduction	9
4.2 Background	10
4.3 Colorimetric quantities for light source applications.....	10
4.4 Colorimetric quantities for object colours	11
4.5 A new Technical Committee on LMS-based colorimetric measures similar to the XYZ system... ..	11
5 Possible parameterization of the spectral sensitivity functions	11
5.1 Introduction	11
5.2 Parameterizing the phenomena underlying the retinal cone cells' sensitivity functions to light incident at the corneal plane	12
5.3 Characterizing the spectral cone fundamentals response functions	14
5.3.1 Ocular media optical density	14
5.3.2 Macular pigment optical density	15
5.3.3 Photopigment optical density	16
5.4 Recommendation for a new Technical Committee to update the publications CIE 170-1:2006 and CIE 170-2:2015.....	19
6 Recommendation for developing a simple approximately uniform colour space based on cone fundamentals	20
6.1 Introduction	20
6.2 Review of the benefits and deficiencies of CIELAB.....	21
6.2.1 Brief summary of CIE 1976 L*a*b*(CIELAB) colour space	21
6.2.2 Inaccurate depiction of non-linear transduction in cone cells	22
6.2.3 Inaccurate representation of the stimulation of cone cells	23
6.3 A simple LMS-based approximately uniform colour space.....	24
6.4 A new CIE Technical Committee to develop an LMS-based version of CIELAB	24

7	Proposing a broad study of diversity of cone fundamentals	25
7.1	Background on CIE colour-matching functions and cone fundamentals	25
7.2	Technical design issues for a new experimental cone fundamental study	25
7.3	Organizational issues to be considered in developing this new experimental study	26
7.4	A new Technical Committee to catalyse an international study on the spectral sensitivity variations of human cone fundamentals	26
7.5	A new Technical Committee on diversity of cone fundamentals	27
8	Conclusion.....	27
	References	28

A ROADMAP TOWARD BASING CIE COLORIMETRY ON CONE FUNDAMENTALS

Summary

This Technical Report presents a roadmap for the CIE, to help guide its development of a new, complete, self-consistent system of CIE colorimetric measures, based directly on cone fundamentals, with explicit consideration of the impacts of normal variations of the cone fundamentals due to age, field of view, and individual diversity. The report provides the necessary background information, with detailed supporting references, to support the reasoning behind the new specific proposals that are presented. It recommends that the CIE form several new Technical Committees to help address these conclusions.

UNE FEUILLE DE ROUTE POUR BASER LA COLORIMÉTRIE CIE SUR LES FONDAMENTALES DE CÔNES

Résumé

Ce Rapport Technique présente une feuille de route pour la CIE, afin d'aider le développement d'un nouveau système complet et auto-cohérent de mesures colorimétriques CIE. Ce système basé directement sur les fondamentales de cônes permettra une prise en compte explicite des impacts des variations normales des fondamentales de cônes dues à l'âge, au champ de vision et à la diversité individuelle. Le rapport fournit les informations de base nécessaires, avec des références détaillées à l'appui, pour étayer le raisonnement sous-tendant les nouvelles propositions spécifiques qui sont présentées. Il recommande que la CIE forme plusieurs nouveaux Comités Techniques pour aider à répondre à ces conclusions.

EIN FAHRPLAN ZUR BASIS DER CIE-FARBMETRIE AUF KEGELFUNDAMENTEN

Zusammenfassung

Dieser technische Bericht stellt einen Fahrplan für die CIE dar, um bei der Entwicklung eines neuen, vollständigen, in sich konsistenten Systems von CIE-Farbmessungen zu helfen, das direkt auf Konus-Fundamentaldaten basiert, unter ausdrücklicher Berücksichtigung der Auswirkungen normaler Variationen der Konus-Fundamentaldaten aufgrund Alter, Gesichtsfeld und individuelle Vielfalt. Der Bericht liefert die notwendigen Hintergrundinformationen mit detaillierten unterstützenden Verweisen, um die Argumentation hinter den neuen spezifischen Vorschlägen, die vorgelegt werden. Es endet mit der Empfehlung, dass die CIE mehrere neue technische Ausschüsse bilden soll, um diese Schlussfolgerungen zu berücksichtigen.