



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

ISBN 978-3-902842-72-5

DOI: 10.25039/TR.253.2024

TECHNICAL REPORT

**Overview of Methods for Evaluating
Colour Rendition of White-Light
Sources beyond Colour Fidelity**

CIE 253:2024

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'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. Le document expose les connaissances et les expériences actuelles dans le domaine, particulier de la lumière et de l'éclairage.
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 978-3-902842-72-5

DOI: 10.25039/TR.253.2024

TECHNICAL REPORT

**Overview of Methods for Evaluating
Colour Rendition of White-Light
Sources beyond Colour Fidelity**

CIE 253:2024

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee (TC) 1-91 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) 1-91 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) 1-91 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 référence 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.

© CIE 2024 - All rights reserved

The following members¹ of TC 1-91 “Methods for Evaluating the Colour Quality of White-Light Sources” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 1 “Vision and Colour”.

Authors:

Lin, Y. (Chair)

de Beer, E.

Bodrogi, P.

van der Burgt, P.J.M.

Jost, S.

Luo, M.R.

Ohno, Y.

Royer, M.

Smet, K.A.G.

Teunissen, C.

Tsukitani, A.

Wei, M.

Yano, T.

China

Netherlands

Germany

Netherlands

France

United Kingdom

United States

United States

Belgium

Netherlands

Japan

Hong Kong

Japan

Advisors:

Bellia, L.

Fuchida, T.

Imai, Y.

Yang, T.H.

Italy

Japan

Japan

Chinese Taipei

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

CONTENTS

Summary	v
Résumé	v
Zusammenfassung	vi
1 Introduction	1
2 Colour rendition quality	1
2.1 Terms and definitions	1
2.2 Framework for colour quality evaluation	4
2.3 Implications for the task assigned to TC 1-91	4
3 Overview of available colour rendition evaluation methods	5
3.1 General	5
3.2 Colour Quality Scale (CQS)	5
3.2.1 Background	5
3.2.2 Calculation procedure	5
3.2.3 Features	7
3.3 Colour Rendering Index (CRI)-based Colour Rendition Properties (CRI-CRP)	7
3.3.1 Background	7
3.3.2 Calculation procedure	8
3.3.3 Features	10
3.4 Colour Rendering Vectors (CRV) and Colour Saturation Index (CSI)	11
3.4.1 Background	11
3.4.2 Calculation procedure	12
3.4.3 Features	15
3.5 Feeling of Contrast Index (FCI)	17
3.5.1 Background	17
3.5.2 Calculation procedure	18
3.5.3 Features	19
3.6 IES TM-30 Method	19
3.6.1 Background	19
3.6.2 Calculation procedure	21
3.6.3 Features	23
3.7 Memory Colour Rendition Index (MCRI)	23
3.7.1 Background	23
3.7.2 Calculation procedure	23
3.7.3 Features	24
3.8 Preference index for Japanese Skin Colour (PS)	25
3.8.1 Background	25
3.8.2 Calculation procedure	27
3.8.3 Features	27
4 Colour rendition evaluation experiments	27
4.1 General overview	27
4.2 A summary of publications related to user evaluations of colour rendition quality	29
5 Conclusion	33
Annex A Spectral radiance factors for CQS test-colour samples	34
Annex B Spectral radiance factors for PS	36
Annex C Spectral radiance factors for FCI	37
Annex D Fitting Parameters for Calculation of MCRI	38
References	39

OVERVIEW OF METHODS FOR EVALUATING COLOUR RENDITION OF WHITE-LIGHT SOURCES BEYOND COLOUR FIDELITY

Summary

This Technical Report includes an overview of seven methods to characterize specific colour rendition characteristics of white-light sources beyond colour fidelity. Methods to characterize colour fidelity are described in CIE 13.3-1995 "Method of measuring and specifying Colour Rendering Properties of light sources" and CIE 224:2017 "CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use".

The seven described methods are:

- Colour Quality Scale (CQS),
- Colour Rendering Index (CRI)-based Colour Rendition Properties (CRI-CRP),
- Colour Rendering Vectors and Colour Saturation Icon (CRV and CSI),
- Feeling of Contrast Index (FCI),
- IES TM-30 Method,
- Memory Colour Rendition Index (MCRI),
- Preference Index of Japanese Skin Colour (PS).

This Technical Report neither ranks the methods nor recommends a specific method for the purpose of rating the adequacy of a white-light source for particular applications. The adequacy of a white-light source is likely to depend on the goal to be reached within a specific application field. The described methods are not intended to replace the general colour rendering index, R_a , or the general colour fidelity index, R_f , but they can be used to obtain a more complete description of the colour rendition characteristics of white-light sources, beyond colour fidelity.

APERÇU DES METHODES D'EVALUATION DU RENDU DES COULEURS DES SOURCES DE LUMIERE BLANCHE AU-DELA DE LA FIDELITE DES COULEURS

Résumé

Ce rapport technique présente une vue d'ensemble de sept méthodes permettant de caractériser les caractéristiques spécifiques de rendu des couleurs des sources de lumière blanche, au-delà de la fidélité des couleurs. Les méthodes de caractérisation de la fidélité des couleurs sont décrites dans le rapport technique CIE 13.3-1995 "Method of measuring and specifying Colour Rendering Properties of light sources" et dans le rapport technique CIE 224:2017 "CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use".

Les sept méthodes décrites sont :

- Colour Quality Scale (CQS),
- Colour Rendering Index (CRI)-based Colour Rendition Properties (CRI-CRP),
- Colour Rendering Vectors and Colour Saturation Icon (CRV and CSI),
- Feeling of Contrast Index (FCI),
- IES TM-30 Method,
- Memory Colour Rendition Index (MCRI),
- Preference Index of Japanese Skin Colour (PS).

Le présent rapport technique ne classe pas les méthodes et ne recommande pas de méthode spécifique pour évaluer l'adéquation d'une source de lumière blanche à des applications particulières. L'adéquation d'une source de lumière blanche est susceptible de dépendre de l'objectif à atteindre dans un domaine d'application spécifique. Les méthodes décrites ne sont pas destinées à remplacer l'indice général de rendu des couleurs, R_a , ou l'indice général de fidélité des couleurs, R_f , mais elles peuvent être utilisées pour obtenir une description plus complète des caractéristiques de rendu des couleurs des sources de lumière blanche, au-delà de la fidélité des couleurs.

METHODENÜBERSICHT ZUR BEWERTUNG DER FARBWIEDERGABE VON WEIßLICHT JENSEITS DER FARBTREUE

Zusammenfassung

Dieser technische Bericht beinhaltet eine Übersicht von sieben Methoden zur Charakterisierung der spezifischen Farbwiedergabe von Weißlichtquellen, die über die alleinige Farbtreue hinaus geht. Allgemeine Methoden zur Charakterisierung der Farbgenauigkeit sind in CIE 13.3-1995 "Method of measuring and specifying Colour Rendering Properties of light sources" und in CIE 224:2017 "CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use" beschrieben.

Folgend sind diese sieben Methoden aufgelistet, als Verweis in englischer Sprache:

- Colour Quality Scale (CQS),
- Colour Rendering Index (CRI)-based Colour Rendition Properties (CRI-CRP),
- Colour Rendering Vectors and Colour Saturation Index (CRV and CSI),
- Feeling of Contrast Index (FCI),
- IES TM-30 Method,
- Memory Colour Rendition Index (MCRTM),
- Preference Index of Japanese Skin Colour (PS).

Dieser Bericht beinhaltet keine Grundlage zur Bewertung oder Empfehlung oben genannter Methoden. Auch beschreibt er keine Tauglichkeitsprüfung dieser für eine spezielle Weißlichtanwendung. Eine gute Weißlichtquelle hängt mit dem zu erreichenden Ziel in dessen Anwendungsfeld zusammen. Diese beschriebenen Methoden sollen auch nicht den allgemeinen Farbwiedergabeindex, R_a , oder den allgemeinen Farbtreueindex, R_f , ersetzen. Vielmehr sollen diese Methoden benutzt werden um die Farbwiedergabe mit speziellen Charakteristiken der Weißlichtquelle, neben der Farbtreue, zu erweitern.

1 Introduction

With the development of solid-state lighting technology, the variety in spectral power distributions (SPDs) has been substantially increased. Spectral engineering can improve energy efficiency and also user preference (Judd, 1967; Thornton, 1974; Airola, 1975; Hashimoto et al., 2007; Davis and Ohno, 2010; Smet et al., 2011c; Wei et al., 2014). However, the perceptual phenomena introduced with spectral engineering cannot be fully captured with colour-fidelity-based indices (such as the general colour rendering index (CRI), R_a , (CIE, 1995)), and the general colour fidelity index, R_f , (CIE, 2017)) alone because white-light sources with a colour fidelity close to 100 are not always most preferred (see Clause 4). An example of the mismatch between the fidelity index and user preference is found in the neodymium incandescent lamp (Airola, 1975).

In 2002, a Technical Committee (TC) in the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), TC 1-62 *Colour Rendering of White LED Light Sources*, was established to investigate whether the general colour rendering index, R_a , (CIE, 1995) was suitable to evaluate white LED sources. Visual experiments showed that ranking of light sources by visual evaluation did not correlate well with ranking by R_a values if LED sources were included (Sandor et al., 2003, 2004; Bodrogi et al., 2004; Szabó et al., 2005; Sandor and Schanda, 2006), and the discrepancy was prominent with narrowband LED sources enhancing object chroma (Narendran and Deng, 2002; Ohno, 2005). The TC concluded that R_a was insufficient to evaluate LED sources, and there was a need for new methods to evaluate colour rendition of white-light sources in general (CIE, 2007). Following this, TC 1-69 *Colour Rendition by White Light Sources* was established in 2006 to develop improved methods for evaluating light source colour rendition; however, the TC could not reach an agreement. In 2012, CIE Division 1 decided to address colour fidelity and other aspects of colour quality separately and started two new corresponding tasks: (1) to develop an improved colour fidelity index, assigned to TC 1-69 (which resulted in the publication of CIE 224 (CIE, 2017)), and (2) to develop one or more perception-related colour quality measures beyond colour fidelity, assigned to TC 1-91.

The colour rendition quality of a white-light source is not easily determined, because the quality of a light source depends on its adequacy to reach a particular goal within a specific application field. Quality is a subjective and relative concept and is expected to depend on the user's expectation, which may be influenced by task, application, culture, gender, knowledge, comparison, or past experiences. Expectations may evolve over time, for example with the introduction of new technologies, products, or design concepts. Therefore, it is not possible to develop a single-number output measure that predicts the appreciation for the colour rendition of a white-light source for all applications and situations. This Technical Report includes a selection of seven characterization methods that provide information on colour rendition of white-light sources beyond colour fidelity. These methods have been published in the scientific literature and were proposed by TC 1-91 for inclusion in this Technical Report. They are presented here without further evaluation by the committee members. The included methods are not exhaustive of all colour rendition evaluation methods that have been proposed in the literature. Additional characterization methods can be found in Guo et al. (2004), Houser et al. (2013), Smet et al. (2011b, 2016c).

2 Colour rendition quality

2.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

CIE maintains a terminology database for use in standardization and other documents at the following address:

- ILV: International Lighting Vocabulary: online available at <https://cie.co.at/e-ilv>.