



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

ISBN 978-3-902842-61-9

# TECHNICAL REPORT

## **CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use**

### **CIE 224:2017**

UDC: 159.937.51  
535.67  
612.843.31  
535.66

Descriptor: Perception of colour  
Colour of objects  
Colour vision  
Colorimetry

## 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 seven 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 sept 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 sieben 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 978-3-902842-61-9

# TECHNICAL REPORT

## **CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use**

### **CIE 224:2017**

UDC: 159.937.51  
535.67  
612.843.31  
535.66

Descriptor: Perception of colour  
Colour of objects  
Colour vision  
Colorimetry

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 1-90 of Division 1 "Vision and Colour" and has been approved by the Board of Administration as well as by 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 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 1-90 de la Division 1 "Vision et Couleur" et a été approuvé par le Bureau 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 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 1-90 der Division 1 "Sehen und Farbe" ausgearbeitet und vom Vorstand 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 CIE-Mitglieder und durch andere Interessierte bestimmt. Es sollte jedoch beachtet werden, dass das Dokument eine Empfehlung und keine Vorschrift ist.

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 1-90 “Colour Fidelity Index” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 1 “Colour and Vision”.

Authors:

<b>Yaguchi, H. (Chair)</b>	<b>Japan</b>
David, A.	United States
Fuchida, T.	Japan
Hashimoto, K.	Japan
Heidel, G.	Germany
Jordan, W.	Germany
Jost-Boissard, S.	France
Kobayashi, S.	Japan
Kotani, T.	Japan
Luo, R.	United Kingdom
Mizokami, Y.	Japan
Ohno, Y.	United States
Pardo, P.	Spain
Richter, K.	Germany
Smet, K.	Belgium
Teunissen, K.	Netherlands
Tsukitani, A.	Japan
Wei, M.	United States
Whitehead, L.	Canada
Yano, T.	Japan

Advisors:

Bellia, L.	Italy
Binder, U.	Germany
Bodrogi, P.	Germany
Szabo, F.	Hungary
van der Burgt, P.	Netherlands
Young, R.	Germany

## CONTENTS

Summary .....	v
Résumé .....	v
Zusammenfassung .....	vi
1 Introduction .....	1
2 Point of Clarification .....	2
2.1 The purpose of a colour fidelity index .....	2
2.2 Terminology used in this Technical Report .....	3
3 Limitations and inaccuracies in the calculation of the CIE general colour rendering index in view of the current status of science and technology .....	3
3.1 Outdated colour science .....	3
3.2 Spectrally non-uniform sensitivity of the CIE general colour rendering index .....	4
3.3 Insufficient information about colour shifts .....	4
4 Development of recommended improvements for the CRI calculation .....	4
4.1 Implementation of CAM02UCS colour space .....	4
4.2 Development of an improved sample set .....	5
4.3 Avoiding negative values for the general colour fidelity index and the special colour fidelity index .....	7
4.4 Minor change to reference illuminant between CCT of 4 000 K and 5 000 K .....	7
4.5 Rescaling of average colour shifts .....	7
4.6 Information output format .....	8
5 Comparisons of general colour fidelity index values of SPDs with their corresponding general colour rendering index values .....	9
5.1 Overall significance of level of correlation .....	9
5.2 Important differences for sources with significant power concentration in narrow wavelength bands .....	9
5.3 Interpretation of general colour fidelity index values .....	9
6 Calculation procedure for the general colour fidelity index ( $R_f$ ) and special colour fidelity indices ( $R_{f,i}$ ) .....	10
7 Concluding recommendations and remarks .....	18
7.1 Primary conclusions and remarks .....	18
7.2 Further considerations .....	18
Annex A Spectral radiance factors for the 99 test-colour samples .....	20
Annex B Method for visualizing the colour shifts of the colour samples .....	40
Annex C Method to create 1 nm interval tables for the 99 TCS data .....	42
References .....	43

## CIE 2017 COLOUR FIDELITY INDEX FOR ACCURATE SCIENTIFIC USE

### Summary

The CIE Colour Rendering Index (CRI), defined in CIE 13.3-1995, in particular the general colour rendering index,  $R_a$ , is widely adopted and used by the lighting industry, in regulatory documents and in international and regional standards and specifications. However, limitations of the CRI have been recently addressed, especially for solid-state light sources, whereby the  $R_a$  values do not always correlate well with visual evaluation by general users. This mismatch arises, first, from inaccuracies of the CRI in its intended role as a colour fidelity index; and second, from perception-related colour quality effects beyond colour fidelity. It was determined by the CIE that, for both aspects, better colour quality characterization methods are needed to measure and specify white-light sources, and the work was divided into two corresponding tasks: (1) to develop a scientifically accurate colour fidelity index, assigned to TC 1-90, and (2) to develop one or more perception-related colour quality measures beyond fidelity, assigned to TC 1-91 for initial work.

This Technical Report, developed by TC 1-90, is a research report describing a general colour fidelity index,  $R_f$ , as a scientifically accurate measure of colour fidelity with respect to a reference illuminant, although there still remain some technical issues for further research. This colour fidelity index, based on the fidelity index of the Illuminating Engineering Society of North America, defined in TM-30-15, addresses aspects for only the first part of the limitations of the CRI – it does not address the need for perception-related colour quality measure(s) beyond fidelity. However, it does correct several previously reported inaccuracies of the CRI as a colour fidelity measure. The important improvements of this measure, relative to the CRI, are the update of the colour difference calculation, in particular the object colour space, and the incorporation of 99 test-colour samples which provide a more uniform distribution of slope and curvature values as a function of wavelength and which have colour appearance values that are more widely and uniformly distributed in the three dimensions of a uniform colour space.

The general colour fidelity index,  $R_f$ , represents how closely the colour appearances of the entire sample set are reproduced (rendered) on average by a test light as compared to those under a reference illuminant. Thus, similar to the general colour rendering index,  $R_a$ , the general colour fidelity index,  $R_f$ , combines the computed colour differences for all test-colour samples in one single average index value, and is only one aspect of colour quality not considering perception/preference effects. Therefore, it is considered that such unintended uses of CRI as an overall colour quality measure for end users is not better fulfilled by the more scientifically accurate general colour fidelity index,  $R_f$ . This is because the users' evaluation is influenced by factors beyond colour fidelity such as chroma effects, and the detailed nature of specific illumination tasks. The general colour fidelity index,  $R_f$ , is therefore not a replacement of the general colour rendering index,  $R_a$ , neither for the purpose of rating and specification of products nor for regulatory or other minimum performance requirements. Replacement of the CRI will be a matter of future study and discussion that will include the evaluation of the general colour fidelity index,  $R_f$ , along with development of a harmonized set of new colour quality measures for assessing perception-related effects beyond colour fidelity and practical aspects for manufacturers and end-users.

## INDICE DE FIDELITE DES COULEURS CIE 2017 POUR UN USAGE SCIENTIFIQUE PRECIS

### Résumé

L'indice de rendu des couleurs de la CIE (IRC), défini dans la publication CIE 13.3-1995, et en particulier l'indice général de rendu des couleurs ( $R_a$ ), est largement adopté et utilisé par l'industrie de l'éclairage, dans les réglementations et dans les normes nationales et internationales. Cependant, certaines limites de l'IRC ont été récemment soulignées. En particulier, les valeurs de  $R_a$  ne correspondent pas toujours à l'évaluation visuelle des observateurs pour les sources à base de semi-conducteurs. Ce décalage provient,

premièrement des imperfections de l'IRC dans son rôle attendu d'indice de fidélité des couleurs et deuxièmement, d'effets liés à la perception de la qualité des couleurs qui ne sont pas pris en compte et qui sont plus vastes que la seule notion de fidélité des couleurs.

Sur ces deux aspects, la CIE a suggéré de développer, de meilleures méthodes de caractérisation de la qualité des couleurs pour mesurer et spécifier les sources de lumière blanche. Pour ce faire, le travail a été divisé en deux tâches : (1) développer un indice de fidélité des couleurs scientifiquement précis (attribué au comité technique TC 1-90), et (2) développer une ou plusieurs mesures de la perception de la qualité des couleurs au-delà de la fidélité (attribué au comité technique TC 1-91).

Ce Rapport Technique, développé par le comité technique TC 1-90, est un rapport de recherche décrivant un indice général de fidélité des couleurs ( $R_f$ ) par rapport à un illuminant de référence. Bien que certains problèmes techniques requièrent encore de plus amples recherches, cette mesure de la fidélité des couleurs est scientifiquement précise. Cet indice, basé sur l'indice de fidélité TM-30-15 développé par Illuminating Engineering Society of North America, répond à la première partie des limites de l'IRC (il ne couvre pas le besoin de mesure de la qualité des couleurs autre que la fidélité) et corrige plusieurs imprécisions de l'IRC ( $R_a$ ) en tant que mesure de la fidélité des couleurs. Les améliorations les plus importantes par rapport à l'IRC sont la mise à jour de la méthode de calcul des différences de couleur, en utilisant en particulier un espace de couleur uniforme, et l'introduction de 99 échantillons colorés ayant une répartition plus uniforme des pentes et des courbures en fonction de la longueur d'onde et étant plus largement et uniformément répartis dans les trois dimensions de cet espace de couleur uniforme.

L'indice général ( $R_f$ ) représente à quel point les apparences des couleurs de l'ensemble de la collection sont en moyenne reproduites (rendues) sous une source test par rapport à leurs apparences sous un illuminant de référence. Ainsi  $R_f$ , comme  $R_a$ , combine les différences de couleurs calculées pour chaque échantillon de couleur en une valeur moyenne unique. Il traite seulement d'un aspect de la qualité des couleurs et ne prend pas en compte les effets liés à la perception/préférence. Par conséquent, des utilisations fortuites de l'IRC comme une mesure globale de la qualité des couleurs ne seront pas mieux remplies par l'indice de fidélité des couleurs scientifiquement précis,  $R_f$ . En effet, l'évaluation des utilisateurs est influencée par des facteurs plus vaste que la fidélité des couleurs tels que les effets de saturation des couleurs ou l'influence de la nature des tâches à effectuer. L'indice général de fidélité des couleurs  $R_f$  ne se substitue pas à l'IRC pour classer ou spécifier les produits ni pour répondre aux exigences minimales de performances réglementaires. Le remplacement de l'IRC sera matière à des études et des discussions futures qui devront évaluer  $R_f$  ainsi que l'ensemble de nouvelles mesures de la qualité des couleurs et proposer des recommandations pratiques pour les produits manufacturés et les utilisateurs finaux.

## **CIE 2017 FARBTRUEINDEX FÜR GENAUE WISSENSCHAFTLICHE ANWENDUNG**

### **Zusammenfassung**

Der Farbwiedergabeindex CRI (Colour Rendering Index) der CIE, definiert in CIE 13.3-1995 (CIE 1995), speziell der allgemeine Farbwiedergabeindex,  $R_a$ , ist weitestgehend angenommen und wird von der Beleuchtungsindustrie, in Vorschriften sowie in internationalen und regionalen Standards und Spezifikationen verwendet. Jedoch wurden kürzlich Grenzen des CRI dahingehend aufgezeigt, dass speziell für Halbleiter-Lichtquellen die  $R_a$ -Werte nicht immer gut mit visuellen Beurteilungen durch Benutzer im Allgemeinen korrelieren. Diese Diskrepanz entsteht erstens aus den Ungenauigkeiten des CRI in seiner definitionsgemäßen Rolle als Farbtreuindex und zweitens aus wahrnehmungsbezogenen Farbqualitätseffekten jenseits der Farbtreuheit. Die CIE hat sich entschieden, dass für beide Aspekte bessere Charakterisierungsmethoden für die Farbqualität nötig sind, um weiße Lichtquellen messen und spezifizieren zu können. Die Arbeit wurde in zwei zusammenhängende Aufgaben geteilt: 1) in TC 1-90 einen wissenschaftlich genauen Farbtreuindex zu entwickeln und 2) einen oder

mehrere wahrnehmungsbezogene Farbqualitätsmaßzahlen jenseits der Farbtreue zu entwickeln. Mit dieser initialisierenden Arbeit wurde TC 1-91 beauftragt.

Der vorliegende, von TC 1-90 erarbeitete Technische Report beschreibt im Sinne eines Forschungsreports einen allgemeinen Farbtreueindex,  $R_f$ , als wissenschaftlich genaues Maß der Farbtreue bezogen auf eine Referenzlichtart, auch wenn noch einige technische Aspekte verblieben sind, die weitere Untersuchungen benötigen. Dieser Farbtreueindex, der auf dem Dokument TM-30-15 der Illuminating Engineering Society of North America basiert, befasst sich nur mit dem ersten Teil der Einschränkungen des CRI – er befasst sich nicht mit dem Bedarf an wahrnehmungsbezogenen Farbqualitätsmaßzahlen jenseits der Farbtreue. Er korrigiert jedoch mehrere der kürzlich festgestellten Ungenauigkeiten des CRI als ein Maß für die Farbtreue. Die wichtigen Verbesserungen bezogen auf den CRI sind: Die Aktualisierung der Farbdifferenzberechnung, speziell der Objektfarbraum, und die Einführung von 99 Test-Farbmustern, die eine gleichmäßigere Verteilung von Steigung und Krümmung als Funktion der Wellenlänge zur Verfügung stellen, wobei deren Farberscheinungen weitgehend und gleichmäßiger im dreidimensionalen gleichförmigen Farbraum verteilt sind.

Der allgemeine Farbtreueindex,  $R_f$ , gibt an, wie genau die Farbeindrücke aller Farbmuster im Mittel unter einer Testlichtquelle im Vergleich mit den Farbeindrücken unter der Referenzlichtart wiedergegeben (gerendert) werden. Somit vereinigt der allgemeine Farbtreueindex,  $R_f$ , ähnlich dem allgemeinen Farbwiedergabeindex,  $R_a$ , die berechneten Farbdifferenzen für alle Test-Farbmuster zu einem einzigen gemittelten Indexwert. Er adressiert damit nur einen Aspekt der Farbqualität und berücksichtigt keine Wahrnehmungs- und Präferenz-Effekte. Daher ist davon auszugehen, dass die Problematik der irrtümlichen Verwendung des CRI als allgemeine Farbqualitätsmaßzahl für den Endverbraucher auch von einem wissenschaftlich genaueren allgemeinen Farbtreueindex,  $R_f$ , nicht besser gelöst wird. Die Ursache dafür ist, dass die Bewertung durch den Benutzer von Faktoren jenseits der Farbtreue, wie etwa Farbsättigungseffekte oder die detaillierte Anforderung der speziellen Beleuchtungsaufgabe, beeinflusst wird. Der allgemeine Farbtreueindex,  $R_f$ , ist daher kein Ersatz des allgemeinen Farbwiedergabeindex,  $R_a$ , weder zum Zweck der Bewertung und Spezifikation von Produkten noch für die Regulierung oder andere Anforderungen an die minimale Leistungsfähigkeit. Ein Ersatz des CRI wird Gegenstand zukünftiger Studien und Diskussionen sein. Diese werden die Beurteilung des allgemeine Farbtreueindex,  $R_f$ , in Kombination mit der Entwicklung eines harmonisierten Satzes neuer Farbqualitätsmaßzahlen zur Bewertung wahrnehmungsbezogener Effekte jenseits der Farbtreue sowie Anwendungs-Aspekte für Hersteller und Endverbraucher umfassen.



## 1 Introduction

The CIE Colour Rendering Index (CRI), defined in CIE 13.3-1995 (CIE 1995), in particular the general colour rendering index,  $R_a$ , is widely adopted and used by the lighting industry, in regulatory documents and in international and regional standards and specifications. However, limitations of the CRI have been recently addressed, especially for solid-state light sources, whereby the  $R_a$  values do not always correlate well with visual evaluation by general users. This mismatch arises, first, from inaccuracies of CRI in its intended role as a colour fidelity index and second, from perception-related colour quality effects beyond colour fidelity.

It was determined by the CIE that, for both aspects, better colour quality characterization methods are needed to measure and specify white-light sources, and the work was divided into two corresponding tasks; (1) to develop a scientifically accurate colour fidelity index, assigned to TC 1-90, and (2) to develop one or more perception-related colour quality measure(s) beyond fidelity, assigned to TC 1-91 for initial work.

This Technical Report, developed by TC 1-90, is a research report describing a general colour fidelity index,  $R_f$ , as a scientifically accurate measure of colour fidelity with respect to a reference illuminant, although there still remain some technical issues for further research. This colour fidelity index, based on the fidelity index of Illuminating Engineering Society of North America, defined in TM-30-15 (IES, 2015), addresses aspects for only the first part of the limitations of the CRI – it does not address the need for perception-related colour quality measure(s) beyond fidelity. However, it does correct several previously reported inaccuracies of the CRI as a colour fidelity measure.

The important improvements of this measure, relative to the CRI, are the update of the colour difference calculation, in particular the object colour space, and the incorporation of 99 test-colour samples which provide a more uniform distribution of slope and curvature values as a function of wavelength and which have colour appearance values that are more widely and uniformly distributed in the three dimensions of a uniform colour space. The general colour fidelity index,  $R_f$ , represents how closely the colour appearances of the entire sample set are reproduced (rendered) on average by a test light compared to those under a reference illuminant. Importantly the general colour fidelity index,  $R_f$  has, by design, a key limitation in common with the general colour rendering index,  $R_a$  – it calculates the average perceptual closeness of colour sample appearances under a test light to those under a reference illuminant, a procedure that does not take into account additional perception effects beyond fidelity, such as chroma preferences and their hue dependence.

It is considered that such unintended uses of CRI as an overall colour quality measure for end users is not better fulfilled by the more scientifically accurate colour fidelity index. The general colour fidelity index,  $R_f$ , is therefore not a replacement, for the purpose of rating and specification of products nor for regulatory or other minimum performance requirements, of the CRI. Replacement of the CRI will be a matter of future study and discussion that will include the evaluation of  $R_f$  along with the development of a harmonized set of new colour quality measures for assessing perception-related effects beyond colour fidelity and practical aspects for manufacturers and end-users.

To help further introduce this report, it may be helpful to briefly review the history of the CIE Colour Rendering Index (CRI). In 1948, the CIE made a first recommendation for a colour rendering index based on an eight-band method proposed in 1937. The method divides the spectrum into eight bands and compares the spectral content of each band with that of a full spectrum radiator. Later, in 1965, the Test Sample Method was developed and adopted by the CIE. In this method the CIE general colour rendering index,  $R_a$ , is calculated from the average magnitude of the colour appearance shift of a set of standard coloured samples, comparing between a test source and a reference illuminant. The reference illuminant, set at the same Correlated Colour Temperature (CCT) as the test source, is a Planckian radiator below 5 000 K and a defined phase of daylight at or above 5 000 K. Any deviation from the colour appearance of the colour sample under this reference illuminant reduces the  $R_a$  value below its maximum value of 100.

At first, only eight Munsell samples of moderate chroma were used. But in 1974, the method was revised to include six additional samples: a sample with Caucasian skin colour, a sample with a green leaf colour, and four high Munsell chroma samples. The method was further adjusted by including a revised von Kries type chromatic adaptation transform and by a slight change in the calculation procedure. It should be noted that the six additional samples are not used to calculate the general colour rendering index,  $R_a$ , but they provided six new special colour rendering indices,  $R_i$ , values which have proven useful.

In the current CIE CRI method according to CIE13.3-1995 (CIE 1995), a reference illuminant at the same CCT as the test source is first selected (a daylight illuminant if the CCT is at or above 5 000 K or Planckian radiation if below). Then the tristimulus values for each test samples (8+6) are calculated using the spectral power distribution of the test source and the reference illuminant. A von Kries chromatic adaptation transformation is used to bridge the difference between the chromaticity values with both sources. The next step is the calculation of colour shifts between the values obtained for each sample. Then the magnitudes of differences are transformed into special colour rendering indices,  $R_i$ , and averaged into the general colour rendering index,  $R_a$ , from the values for the first eight test samples.

Despite its known imperfections, the CIE general colour rendering index,  $R_a$ , has gained international acceptance and has been included in many regulations and commercial lamp specifications. Since the last revision of the CRI in 1974, improved colorimetric formulae (such as object colour space and chromatic adaptation transform) (Fairchild 2005, CIE 2004a, CIE 2004b) became available and the CRI therefore became outdated. In the 1990s, CIE TC 1-33 attempted to update the formula and the test-colour samples, but it did not reach a consensus and was closed without any recommendation. In 1995, the CIE corrected some small descriptive errors by publishing CIE 13.3 (CIE 1995), but no changes were made to the technical contents. As solid-state lighting emerged since the early 2000s, it became clear that further improvements would be desirable. The problems were investigated by CIE TC 1-62, which published a report presenting the analyses of the problems and the need for improvement of the CRI, as also summarized in Clause 3. Following this, CIE TC 1-69 discussed proposed metrics such as Colour Quality Scale (Davis & Ohno 2010) addressing the perception effect of chroma saturation, CRI2012 (Smet et al. 2013) introducing a wavelength uniform mathematical sample set, and MCRI (Smet et al. 2010) which is a reference-illuminant-free index using the memory colours of a set of familiar objects as reference. The TC was closed without consensus. As previously mentioned, the CIE subsequently decided to separate the efforts to develop new metrics for 1) colour fidelity and 2) aspects other than colour fidelity. This Technical Report is a result of the first task.

Excel calculation tools for the CIE 2017 Colour Fidelity Index (1 nm and 5 nm step versions), including a table of the spectral data of the 99 Test Colour Samples, are downloadable at [http://files.cie.co.at/933\\_TC1-90.zip](http://files.cie.co.at/933_TC1-90.zip).

## 2 Point of Clarification

### 2.1 The purpose of a colour fidelity index

The CIE definition of the term “colour rendering” is: “effect of an illuminant on the colour appearance of objects by conscious or subconscious comparison with their colour appearance under a reference illuminant” (CIE 2011). In recent scientific literature, the term “colour fidelity” has come into use with a very similar meaning; it has been chosen to help avoid a common error whereby some misinterpret the term “colour rendering” to have a broader meaning. Thus, the term “colour fidelity” is used in this Technical Report in a manner that is consistent with the definition of “colour rendering” as above, especially to distinguish from other aspects of colour quality beyond colour fidelity.

For example, some have incorrectly interpreted colour rendering as being intended to measure the value, or overall colour quality, of a light source. However, colour quality includes more aspects than only colour fidelity and there can be situations in which a subject may report a preference for a lamp illuminating a scene, even though it has lower colour fidelity value, e.g. when the chroma of objects is increased. This is due to some additional factors related to perception that may be desirable in that circumstance. Such additional factors are currently