



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

ISBN 978-3-902842-58-9

TECHNICAL REPORT

Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications

CIE 218:2016

UDC: 28.97.972

Descriptor: Interior lighting

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 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



ISBN 978-3-902842-58-9

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

TECHNICAL REPORT

Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications

CIE 218:2016

UDC: 28.97.972

Descriptor: Interior lighting

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 3-46 of Division 3 "Interior Environment and Lighting Design" and has been approved by the Board of Administration as well as by Division 3 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 3-46 de la Division 3 "Environnement intérieur et étude de l'éclairage" et a été approuvé par le Bureau et Division 3 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 3-46 der Division 3 "Innenraum und Beleuchtungsentwurf" ausgearbeitet und vom Vorstand sowie Division 3 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 3-46 “Research Roadmap for Healthful Lighting Applications” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 3 “Interior Environment and Lighting Design”.

Authors:

Veitch, J.A.¹	Canada (Chair)
Bisegna, F.	Italy
Hubalek, S.	Germany
Knoop, M.	Germany
Koga, Y.	Japan
Noguchi, H.	Japan
Schierz, C.	Germany
Thorns, P.	United Kingdom
Vries, A. de	Netherlands

Advisors:

Bedocs, L.	United Kingdom
Cook, G.	United Kingdom
Dehoff, P.	Austria
Goven, T.	Sweden
Hrdlík, M.	Slovakia
Jost, S.	France
Lin, Y.	China
Pellegrino, A.	Italy
Takao, M.	Japan
Wojtysiak, A.	Germany

¹ National Research Council Canada

CONTENTS

Summary	V
Resume	V
Zusammenfassung.....	V
1 Introduction	1
2 Research agenda	1
2.1 Total light exposure.....	2
2.2 Light-dark rhythms	6
2.3 Spectral properties	8
2.4 Light received at the eye	9
2.5 Timing of exposure.....	11
2.6 Glare and flicker: Health effects through visual processes	12
2.7 Individual differences	13
3 Research Methodology	14
3.1 Internal validity.....	15
3.1.1 Stimulus specification.....	15
3.1.2 Eliminating alternative explanations.....	17
3.1.3 Size and composition of research samples	17
3.2 External validity.....	18
4 Further application considerations	18
4.1 Healthful lighting: Design installations, not products	19
4.2 Integrated lighting quality recommendations	19
4.3 Ethics, society, and public perception.....	21
5 Conclusions.....	21
References	32

RESEARCH ROADMAP FOR HEALTHFUL INTERIOR LIGHTING APPLICATIONS

Summary

Although light is defined as electromagnetic radiation that provides the stimulus for vision, we now know conclusively that ocular detection of this signal also has many other physiological and psychological effects in humans and other organisms. This knowledge has led some to argue for rapid adoption of lighting recommendations that incorporate “lighting for health” elements, whereas others have argued that a more cautious approach would be wiser. CIE created Technical Committee 3-46 to outline a research agenda that could lead to evidence-based recommendations for healthful interior lighting within the context of delivering good lighting quality. The starting point for this work was CIE publication 158:2004/2009 and its five principles for healthy lighting. Although not a comprehensive review of the literature on this vast topic, this report summarizes the state of knowledge at the time of publication and identifies gaps in our understanding that in the view of the committee ought to be filled in order to support safe and beneficial future uses of light. The report delivers a research roadmap of questions in themed groups: Fundamental Processes, Daily Pattern, Longer Patterns, Application, Application – Specific, and Individual Differences. The roadmap indicates the ease with which each question might be answered and its importance to lighting application in the short term. Design considerations and the ethics of using light to influence health also receive attention.

RECHERCHES A MENER POUR UN ECLAIRAGE INTERIEUR RESPECTUEUX DE LA SANTE HUMAINE

Résumé

Bien que la lumière soit définie comme le rayonnement électromagnétique stimulant la vision humaine, nous avons maintenant la preuve que ce rayonnement a également de nombreux autres effets sur l'homme (physiologiques et psychologiques) comme sur d'autres êtres vivants. Cette connaissance a conduit certains à plaider en faveur d'une adoption rapide de recommandations d'éclairage intégrant des aspects « éclairage pour la santé humaine », alors que d'autres ont fait valoir qu'une approche plus prudente serait plus sage. La CIE a créé le Comité Technique 3-46 avec comme objectif de définir un programme de recherches menant à des recommandations basées sur des preuves scientifiques, permettant d'obtenir un éclairage intérieur de qualité respectueux de la santé humaine. Le point de départ de ce travail a été la publication CIE 158:2004/2009 et ses cinq principes pour un éclairage sain. Bien que ne représentant pas une revue exhaustive de la littérature sur ce vaste sujet, le présent rapport résume l'état des connaissances au moment de sa publication et identifie les lacunes des connaissances actuelles qui, de l'avis du comité, devraient être comblées afin de proposer une utilisation sûre et bénéfique de la lumière dans le futur. Le rapport fournit un programme de recherches présenté sous forme de questions rassemblées par thèmes: Processus Fondamentaux, Rythmes Quotidiens, Rythmes à plus Long terme, Applications, Applications plus Spécifiques, et Différences Individuelles. Cette feuille de route indique la facilité avec laquelle chaque question pourrait être traitée et son importance à court terme pour l'éclairage intérieur. Les considérations de conception et d'éthique concernant l'utilisation de la lumière pour influencer la santé sont aussi abordées.

FORSCHUNGS-ROADMAP FÜR GESUNDHEITSFÖRDERNDE BELEUCHTUNGSANWENDUNGEN IN INNENRÄUMEN

Zusammenfassung

Auch wenn Licht als elektromagnetische Strahlung definiert ist, welche den Reiz für das Sehen liefert, ist abschließend bekannt, dass die Wahrnehmung dieses Signals durch das Auge ebenfalls viele andere physiologische und psychologische Effekte beim Menschen und in anderen Organismen mit sich bringt. Diese Kenntnis hat manche dazu gebracht, für eine

schnelle Einführung von Beleuchtungsempfehlungen zu argumentieren, welche "Beleuchtung für Gesundheit" beinhalten, während andere argumentierten, dass ein behutsamerer Ansatz sinnvoller wäre. CIE hat das Technische Komitee 3-46 ins Leben gerufen, um einen Forschungsplan zu entwickeln, der zu nachweisbasierten Empfehlungen für gesundheitsfördernde Innenraumbelichtung bei gleichzeitig guter Beleuchtungsqualität führen könnte. Der Startpunkt für diese Arbeit war die Publikation CIE 158:2004/2009 und ihre fünf Prinzipien gesundheitsfördernder Beleuchtung. Auch wenn es sich nicht um eine umfassende Literaturrecherche zu diesem mächtigen Thema handelt, fasst dieser Bericht den Wissensstand zum Zeitpunkt der Publikation zusammen und zeigt Lücken in unserem Verständnis auf, welche aus Sicht des Komitees gefüllt werden müssten, um zukünftige sichere und förderliche Nutzungen des Lichtes zu unterstützen. Der Bericht liefert einen Forschungsfahrplan von Fragen in folgenden Themengruppen: Grundlegende Prozesse, Tägliche Struktur, Längere Strukturen, Anwendung, Anwendung – spezifisch, Individuelle Differenzen. Der Fahrplan zeigt den Aufwand auf, mit welchem jede Frage beantwortet werden könnte, sowie ihre Wichtigkeit hinsichtlich kurzfristiger Lichtanwendung. Designüberlegungen und ethische Fragen hinsichtlich der Verwendung von Licht zur Gesundheitsbeeinflussung werden ebenfalls betrachtet.

1 Introduction

Evidence that a separate photoreceptor detects irradiance and provides the entrainment signal for circadian regulation (Berson et al. 2002; Hattar et al. 2002) has galvanized lighting researchers, manufacturers, and designers (Bommel and Beld 2004; DiLaura 2005). Some have argued that lighting applications should rapidly change to adopt this new information (Bommel 2005; Bommel and Beld 2004; German Institute for Standardization (DIN) 2013), whereas others have called for a more cautious approach (Boyce 2006).

CIE published the first consensus report concerning the ocular effects of light on physiology and behaviour in 2004 (CIE 158:2004/2009), and convened expert symposia on the subject in 2004 (CIE 2004) and 2006 (CIE 2006). The first symposium emphasized the evidence that light has effects on people beyond vision (“light and health”), whereas the second event focused more on the potential applications of this knowledge (“lighting and health”). The emphasis on application continued in 2007 with a workshop at the 26th Session of the CIE in Beijing (Brainard and Veitch 2007). Workshop participants expressed two diverging opinions: “Time to forge ahead” and “Take care to avoid unintended consequences”. CIE Technical Committee 3-46 was formed in response to these competing influences.

The Terms of Reference for TC 3-46 are:

“This TC will review relevant CIE publications (CIE 158:2004 and the two CIE expert symposia on light and lighting and health in 2004 and 2006) and the more recent scientific literature to identify the information that is needed before such lighting application may take place. The output will be a technical report which will describe a research roadmap intended to stimulate fundamental research into questions relevant to lighting applications.”

The World Health Organization definition of health underlies this report: “Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity” (World Health Organization (WHO) 1948). We seek knowledge of the effects of light that will result in positive psychological and physiological states and rhythms in order to support evidence-based lighting recommendations. That said, the committee has focused primarily on the research directions related to the CIE publications referenced in its Terms of Reference. This means, for example, that research related to spatial appearance judgements is not included (but see Veitch and Galasiu (2012) for a consideration of this topic).

Research productivity in all aspects of light, lighting, and health has been prodigious in the years over which this TC has worked; but it remains the considered opinion of the committee members that in many areas we remain in the early days of understanding what will constitute a healthful lighting application in any specific installation. Even in domains where there has been the greatest activity, it can be difficult to derive applications guidance because of limitations of research design or reporting.

This document is not a comprehensive research review; it is not a sequel to publication CIE 158 (CIE 2004/2009). Rather, it sets out the questions for which those who write standards, recommendations, and codes will need answers if these documents are to provide integrated guidance incorporating goals for health and well-being along with visual requirements. The purpose of this document is to clarify the research questions (Clause 2) and to set out some simple guidance for research methods (Clause 3) to speed the work of developing knowledge that can be put into practice. Clause 4 provides insight into the gap between fundamental research and application.

2 Research agenda

The research agenda is based primarily on the five principles of healthy lighting first articulated in CIE publication 158 (CIE 2004/2009), augmented by questions relating to glare