



ISBN 978 3 901906 76 3

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

# TECHNICAL REPORT

**OCULAR LIGHTING EFFECTS  
ON HUMAN PHYSIOLOGY AND  
BEHAVIOUR**

**CIE 158:2009 (including Erratum 1)**

---

UDC: 612.014.481-06

Descriptor: Optical radiation effects on human

## 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 37 countries and one geographical area and of 5 associate members.

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, 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 37 pays plus un territoire géographique, et de 5 membres associés.

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 37 Ländern und einem geographischen Gebiet und aus 5 assoziierten Mitgliedern.

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 Richtlinien 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 Lichtenwendung. 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/cie/>

© CIE 2009– All rights reserved



ISBN 978 3 901906 76 3

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

# TECHNICAL REPORT

**OCULAR LIGHTING EFFECTS  
ON HUMAN PHYSIOLOGY AND  
BEHAVIOUR**

**CIE 158:2009 (including Erratum 1)**

---

UDC: 612.014.481-06

Descriptor: Optical radiation effects on human

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 6-11 of Division 6 "Photobiology and Photochemistry" and has been approved by the Board of Administration of the Commission Internationale de l'Eclairage for study and application. 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. The latest CIE proceedings or CIE NEWS should be consulted regarding possible subsequent amendments.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique CIE 6-11 de la Division 6 "Photobiologie et Photochimie" et a été approuvé par le Bureau de la Commission Internationale de l'Eclairage, pour étude et emploi. Le document expose les connaissances et l'expérience courantes 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 tout les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire. Il faut consulter les plus récents comptes rendus de la CIE, ou le CIE NEWS, en ce qui concerne des amendements ou nouveaux éventuels.

Dieser Technische Bericht ist vom CIE Technischen Komitee 6-11 der Division 6 "Photobiologie und Photochemie" ausgearbeitet und vom Vorstand 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. Die neuesten CIE-Tagungsberichte oder das CIE NEWS sollten im Hinblick auf mögliche spätere Änderungen zu Rate gezogen werden.

Any mention of organisations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of this 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 angewandt wurde, ist es möglich, daß diese nicht vollständig sind.

The following members of TC 6-11, "Systemic Effects of Optical Radiation on the Human" took part in the preparation of this technical report. The committee comes under Division 6 "Photobiology and Photochemistry".

Members:

Jennifer A. Veitch (Chair)	Canada
Gerrit van den Beld	the Netherlands
George Brainard	USA
Joan E. Roberts	USA

Acknowledgements:

The committee would like to thank those who, although not members of the committee, contributed or reviewed sections of this report: D. Blask, S. W. Lockley, I. Provencio, and A. Wiechmann. Illustrations were provided by: G. Franche, D. Hobbs, C. Reinart, D. Skene, and K. Voss.

## CONTENTS

SUMMARY	VI
RESUME	VI
ZUSAMMENFASSUNG	VI
ERRATUM 1	E-1
1. INTRODUCTION	1
1.1 Biological, psychological and architectural issues	1
1.2 Terms of reference	2
2. NEUROPHYSIOLOGY OF LIGHT AND DARK	3
2.1 Rhythms of activity	3
2.2 Circadian rhythms	3
2.2.1 Brain structures controlling circadian rhythms	3
2.2.2 Light and circadian rhythms	4
2.3 Melatonin	5
2.3.1 Melatonin circadian rhythms	5
2.3.2 Acute light suppression	5
2.3.3 Health and melatonin cycles	6
2.4 Cortisol	7
2.5 Other biological functions	8
2.6 Photoimmune responses	8
3. OCULAR ANATOMY AND PHYSIOLOGY	9
3.1 The visual system	9
3.2 Nonvisual photoperception	10
3.2.1 Location of nonvisual photoreceptors	10
3.2.2 Ocular photoreceptors	10
3.2.3 Retinal location of nonvisual photoreceptors	12
3.3 Circadian rhythms of ocular sensitivity	12
3.4 Age and ocular sensitivity	13
4. BEHAVIOURAL EFFECTS IN HEALTHY PEOPLE	13
4.1 Circadian rhythms of behaviour	13
4.2 Effects of daytime light exposure	14
4.2.1 Activation and arousal	14
4.2.2 Performance	15
4.2.3 Mood and comfort	16
4.3 Effects of night-time light exposure	17
4.3.1 Alertness	17
4.3.2 Performance	17
4.3.2 Mood	17

4.4 Circadian phase shifting	18
4.4.1 Jet lag	18
4.4.2 Shift work	19
4.5 Luminous modulation	20
5. THERAPEUTIC EFFECTS OF LIGHT	20
5.1 Mood disorders	20
5.1.1 Seasonal mood disorders	20
5.1.2 Other mood disorders	22
5.2 Sleep disorders	23
5.3 Circadian rhythms and medical treatment	23
5.4 Neurological disorders: Alzheimer and related dementias	24
6. RESEARCH METHODS IN LIGHTING	24
6.1 Measuring light	24
6.1.1 Stimulus specification	24
6.1.2 Photometric measurement	25
6.2 Light exposure and light dose	25
6.3 Research design issues	26
6.3.1 Placebo effects	26
6.3.2 Eliminating alternative explanations	27
6.3.3 Size and composition of research samples	27
7. ARCHITECTURAL AND LIFE-STYLE APPLICATIONS	28
7.1 General principles	28
7.1.1 Principles for healthy lighting	28
7.1.2 Fundamentals of lighting quantity	29
7.2 Lighting for daytime activities	29
7.3 Lighting for night shifts	30
8. CONCLUSION	31
9. REFERENCES	31
APPENDIX	49
A.1. References	50

## **OCULAR LIGHTING EFFECTS ON HUMAN PHYSIOLOGY AND BEHAVIOUR**

### **SUMMARY**

The nonvisual biological and behavioural effects of light in animals and humans are mediated by specific neuroanatomical pathways. Controlled empirical studies have shown that light can be used to treat some clinical disorders and may have broader, nonclinical applications for problems of shift work and jet lag. Studies are testing how lighting may be incorporated into architectural designs that are optimal for vision as well as physiological and behavioural stimulation.

### **CONSEQUENCES DE L'ECLAIREMENT DE L'OEIL SUR LA PHYSIOLOGIE ET LE COMPORTEMENT HUMAINS**

#### **RESUME**

Les effets, non visuels, biologiques et comportementaux de la lumière chez les animaux et les humains sont acheminés par des voies neuro-anatomiques spécifiques. Des études empiriques, contrôlées, ont montré que la lumière peut être utilisée pour traiter des pathologies et peut avoir de plus larges applications, non médicales, pour les problèmes posés par le décalage horaire et les travaux décalés dans le temps. Les études évaluent comment l'éclairage peut être introduit dans les réalisations architecturales, optimisées pour la vision comme pour les stimulations comportementale et physiologique.

### **OKULARE WIRKUNGEN DER BELEUCHTUNG AUF PHYSIOLOGIE UND VERHALTEN DES MENSCHEN**

#### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die nicht-visuellen biologischen Wirkungen von Licht und seine Auswirkung auf das Verhalten bei Tieren und Menschen werden über spezifische neuroanatomische Bahnen vermittelt. Kontrollierte empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass Licht zur Behandlung bestimmter klinischer Bedingungen verwendet werden kann und auch in nichtklinischen Bereichen (Probleme durch Schichtarbeit und Jetlag) Anwendung finden kann. In Studien wird untersucht, wie Beleuchtung in die architektonische Gestaltung integriert werden kann, sodass sie sowohl für das Sehen als auch für die Stimulierung von physiologischen Vorgängen und Verhalten optimal ist.