

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Lichttechnik
Optimierung von Tageslichtnutzung und
künstlicher Beleuchtung
Grundlagen und allgemeine Anforderungen
Lighting technology
Optimisation of daylight use and artificial lighting
Fundamentals and basic requirements

VDI 6011
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	4	1 Scope	4
2 Normative Verweise	5	2 Normative references	5
3 Begriffe	5	3 Terms and definitions	5
4 Formelzeichen und Abkürzungen	6	4 Symbols and abbreviations	6
5 Grundlagen	8	5 Fundamental principles	8
5.1 Physikalische Grundlagen	8	5.1 Physical foundations	8
5.2 Wirkung des Lichts auf den Menschen	16	5.2 The effect of light on humans	16
5.3 Architektur und Werkstoffe	27	5.3 Architecture and materials	27
5.4 Technologien der Beleuchtung	42	5.4 Illumination technologies	42
6 Anforderungen an das Licht in Räumen	50	6 Requirements for indoor illumination	50
6.1 Beleuchtungsqualität	50	6.1 Lighting quality	50
6.2 Bedienbarkeit und Nutzerakzeptanz	60	6.2 Operability and user acceptance	60
6.3 Innenraumbegrünung	62	6.3 Interior greenery	62
6.4 Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz	72	6.4 Cost-effectiveness and energy efficiency	72
Schrifttum	78	Bibliography	78

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Elektrotechnik und Gebäudeautomation
VDI-Handbuch Architektur
VDI/VDE-Handbuch Optische Technologien

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/6011.

Einleitung

Die Ansprüche an gutes Licht sind gewachsen. Gutes Licht wird aber nicht allein zur Erfüllung einer Seh Aufgabe gebraucht. Gutes Licht ist auch ein wesentlicher Faktor für menschliches Wohlbefinden, Gesundheit, Leistungsbereitschaft und Produktivität. Das Tageslicht übt dabei eine besonders positive Wirkung auf die Gesundheit aus.

Ebenso wird die Forderung nach effizienter Beleuchtung mit niedrigem Energiebedarf immer stärker. Mit veränderten Arbeitsbedingungen und speziell der Bildschirmarbeit kamen weitere Anforderungen hinzu.

Tageslicht und künstliche Beleuchtung sind ein integraler Bestandteil der Architektur. Bei gesamtlicher Betrachtung auch der energetischen Aspekte zeigen sich übergreifende Zusammenhänge zwischen Tageslichtnutzung, künstlicher Beleuchtung, Sonnenschutz- und Blendschutzfunktion, Raumklima und Behaglichkeit sowie der Gebäudegestaltung. Eine enge, frühzeitige Zusammenarbeit der beteiligten Fachrichtungen ist in der Planung daher unumgänglich. In der Richtlinie VDI 6011 Blatt 2 werden diese Zusammenhänge auch innerhalb der TGA-Gewerke dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass für die Berechnung der Kühllast von Gebäuden die Richtlinie VDI 2078 sowie Blatt 1 bis Blatt 3 der Richtlinienreihe VDI 6007 anzuwenden sind, deren Inhalt hier nicht wiedergegeben werden kann.

Die natürliche Beleuchtung mit Tageslicht und die künstliche Beleuchtung sind bezüglich ihrer Mindestanforderungen schon in bestehenden Verordnungen, Richtlinien und Normen erfasst. Darüber hinaus sollen Lichtplaner jedoch für ein abge-

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/6011.

Introduction

The demands made on good lighting have been increasing. However, good lighting is required not only for performing visual tasks: it is also a significant factor in human wellbeing, health, performance and productivity. In particular, daylight has a positive effect on health.

Similarly, the requirement for efficient lighting with low energy consumption is being made with increasing force. Changes in working conditions and especially the use of computer screens have added further requirements.

Daylight and artificial lighting are integral components of architectural design. When considered as a whole, including energy aspects, comprehensive interrelationships become apparent between the use of daylight, artificial lighting, protection from sunlight and anti-glare functions, room climate, comfort and the building's design. Close, early cooperation between the involved professional disciplines is, therefore, essential during the planning process. VDI 6011 Part 2 also describes the interrelationships among the various technical building services and systems. Please note that VDI 2078 and Part 1 to Part 3 of the series of standards VDI 6007, whose content cannot be reproduced here, should be used for calculating the cooling load of buildings.

Natural lighting using daylight and artificial lighting are covered already, as regards the minimum requirements, in existing regulations, directives and standards. Over and above that, however, planners should consider further aspects and quali-

stimmtes Tages- und Kunstlichtkonzept weitere Aspekte und Qualitätsansprüche berücksichtigen.

Medizinische Literatur wie auch arbeitswissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass Tageslicht für den arbeitenden Menschen eine gesundheitsfördernde und motivierende Wirkung hat. Die Wirkung hängt wesentlich von Quantität und Qualität des Tageslichts ab, die der Mensch empfängt. Auch wenn eine künstliche Beleuchtung nach neueren Untersuchungen bei geeigneter Lichtqualität und -dynamik ebenfalls manche der förderlichen Effekte erzeugen kann, kann und soll das Tageslicht nicht vollständig durch künstliches Licht ersetzt werden.

In der gesamtheitlichen Planung entstehen häufig Zielkonflikte zwischen den Schutz- und Versorgungsfunktionen der Tageslichtnutzung. Sonnenschutz, Blendschutz und Schutz gegen Wärmeverluste nach außen wirken physikalisch gegenläufig zur gewünschten Durchsicht und Außenverbindung, solaren Gewinnen im Winter, verbessertem Tageslichteintrag und damit einhergehender Energieeinsparung bei der künstlichen Beleuchtung. Diese unterschiedlichen Funktionen und Effekte müssen entsprechend den Prioritäten der Nutzer optimiert werden.

Bei besonderen Gebäudenutzungen, z.B. in Museen, sind auch die eventuell schädigenden Wirkungen des Tageslichts auf die Exponate zu berücksichtigen.

Die Richtlinienreihe VDI 6011 gibt einen Überblick zur Tageslichtnutzung über Fassaden und Dachoberlichter sowie deren Kombination mit künstlicher Beleuchtung durch konventionelle und neuentwickelte effiziente Lichttechnik – von der Leuchtstofflampe bis zur LED. Sie enthält Energiekennwerte bei optimierter Tageslichtnutzung und effizienter künstlicher Beleuchtung sowie Hinweise für Auswahl, Planung und Dimensionierung.

In Abschnitt 6.3 werden Anforderungen und Richtwerte für die Beleuchtung von Pflanzen aufgeführt. Durch Pflanzen in Räumen werden positive Wirkungen auf das Umfeld in Gebäuden verschiedener Nutzung erzielt. Auf die Langlebigkeit einer Begrünung ist sowohl bei der Planung und Ausführung als auch bei der begleitenden Pflege zu achten. Ein Teil dieser Pflege ist eine geeignete Lichtversorgung der Pflanzen. Die FLL-Richtlinie [3], die als Basis für den Abschnitt 6.3 der vorliegenden Richtlinie dient, enthält weitere Aspekte aus dem Bereich des Gartenbaus sowie Hinweise zu Temperaturen und Luftfeuchten.

Die Richtlinie spricht Fachleute aus Architektur und Planung, Bau, Industrie und Handwerk an.

ty requirements for a coordinated daylight and artificial light concept.

The medical literature and ergonomic investigations show that daylight has a health-promoting and motivating effect on working persons. This effect depends significantly on the quantity and quality of the daylight that the person receives. Even though, according to recent investigations, artificial lighting of appropriate quality and dynamic properties can also provide some of the required effects, daylight cannot and should not be replaced completely by artificial light.

In overall planning, conflicts often arise between the functions of supplying daylight and protecting against it. Protection from sunlight, anti-glare systems and protection against heat loss to the outside have an opposite physical effect to the desired clear view and contact with the outside world, solar energy gains in winter, improved entry of daylight and the associated energy savings on artificial lighting. These different functions and effects need to be optimised in accordance with the user's priorities.

In special situations, such as museums, the potentially harmful effects of daylight on the exhibits should also be borne in mind.

The series of standards VDI 6011 provides an overview of daylight use via façades and roof lights, and their combination with artificial lighting using conventional and recently developed efficient lighting technology, from fluorescent lights to LEDs. It includes characteristic energy values in situations of optimised daylight use and efficient artificial lighting, and information about selection, planning and dimensioning.

Section 6.3 discusses the requirements and reference values for the lighting of plants. Thanks to the presence of plants in rooms, positive effects are achieved on the environment within buildings used for various purposes. Attention should be paid to the longevity of all greenery, both during planning and implementation and during ongoing care. One part of this care is suitable illumination for the plants. The FLL Guideline [3], which serves as the basis for Section 6.3 in this standard, covers further horticultural aspects and provides information on appropriate temperatures and air humidities.

This standard is intended for professionals in the fields of architecture and planning, construction,

Bereits vorliegende relevante Erkenntnisse und Kennwerte aus anderen Quellen erhalten in dieser Richtlinie Querverweise. Die Richtlinie soll weiterhin Impulse für Forschungsarbeiten und Innovationen geben, z.B.:

- Wirkung des Lichts auf den Menschen
- technische und bauliche Entwicklungen von Komponenten und Systemen für die Tageslichtnutzung
- Zusammenwirken von Komponenten für Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung, Gebäudeklimatik und regenerativen Energie-Systemen
- gemeinsame Steuer- und Regelsysteme mit Anbindungen an die Gebäudeautomation und anderen Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Die Neufassung der Richtlinienreihe ersetzt die bisherigen Fassungen von Blatt 1 bis Blatt 3 der Richtlinienreihe VDI 6011, die schrittweise in den Jahren 2000 bis 2005 erarbeitet wurden. Deren Inhalte wurden zusammengefasst, neu strukturiert und aktualisiert.

Gemeinsam mit den neu zu überarbeitenden Blatt 2 und Blatt 3 werden die Optimierungspotenziale dargestellt.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt für alle Räume in Gebäuden, in denen sich bestimmungsgemäß Personen aufhalten.

Ziel der optimierten Tageslichtnutzung in Gebäuden ist eine Verbesserung der Aufenthaltsqualität für Menschen in Gebäuden und gleichzeitig eine wesentliche Reduktion des Gesamtenergiebedarfs. Für die lichttechnische Konzeption durch Architekten und Ingenieure besteht Bedarf an Planungshilfen und Richtwerten für die Systemauswahl, Bewertung und nutzungsgerechte Ausführung. In diesem Blatt der Richtlinie werden dazu die Grundlagen dargestellt.

Die Richtlinie soll zur Optimierung von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung angewendet werden. Optimiert werden kann dabei hinsichtlich Aufenthaltsqualität, Gesundheit, Energieeffizienz oder nutzungsspezifischen Zielen, z.B. Sehaufgabe.

Es werden neben den konventionellen Ansätzen auch weitere Aspekte, z.B. medizinische und biologische Themen, behandelt, um das Ziel der Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung erreichen zu können, und damit die Qualität der Lichttechnik in Räumen und Gebäuden zu erhöhen.

industry and trades. Available relevant knowledge and parameters from other sources are cross-referenced. It is further meant to stimulate research projects and innovations, e.g.:

- the effect of light on humans
- technical and architectural developments of components and systems for daylight use
- interaction between components for daylight use and artificial lighting, building air-conditioning and regenerative energy systems
- combined control systems with links to building automation and other facilities of technical building equipment (TGA)

The new version of this series of standards replaces the former versions of Part 1 to Part 3 of the VDI 6011 series, which were compiled gradually from 2000 to 2005. Their contents have been consolidated, restructured and updated.

The optimisation potentials are discussed together with Part 2 and Part 3 which are scheduled to be revised.

1 Scope

This standard applies to all rooms in buildings in which personnel are properly meant to be present.

The objective of optimised daylight use in buildings is to improve the ambience for persons during their stay in the building and at the same time achieve a significant reduction in total energy consumption. Technical lighting concepts developed by architects and engineers require planning aids and reference values for system selection, assessment and fit-for-purpose designs. This part of the standard discusses the relevant fundamental principles.

This standard is meant to be used for the optimisation of both daylight and artificial illumination. The optimisation can relate to overall ambience, health, energy efficiency or usage-specific objectives, e.g. visual tasks.

In addition to conventional approaches, further aspects such as e.g. medical and biological topics are also covered, in order to achieve the objective of optimising daylight use and artificial lighting and thus enhance the quality of lighting technology in rooms and buildings.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

- DIN 5031-1:1982-03 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik (Optical radiation physics and illuminating engineering; quantities, symbols and units of radiation physics)
- DIN 5031-3:1982-03 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik (Optical radiation physics and illuminating engineering; quantities, symbols and units of illuminating engineering)
- DIN 5034-1:2011-07 Tageslicht in Innenräumen; Teil 1: Allgemeine Anforderungen (Daylight in interiors; Part 1: General requirements)
- DIN EN 12464-1:2011-08 Licht und Beleuchtung; Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN 12464-1:2011 (Light and lighting; Lighting of work places; Part 1: Indoor work places; German version EN 12464-1:2011)
- DIN EN 15193:2008-03 Energetische Bewertung von Gebäuden; Energetische Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 15193:2007 (Energy performance of buildings; Energy requirements for lighting; German version EN 15193:2007)
- DIN EN 15232:2012-09 Energieeffizienz von Gebäuden; Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement; Deutsche Fassung EN 15232:2012 (Energy performance of buildings; Impact of Building Automation, Controls and Building Management; German version EN 15232:2012)
- DIN SPEC 5031-100:2015-08 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen; Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren (Optical radiation physics and illuminating engineering; Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings; Quantities, symbols and action spectra)
- VDI 4700 Blatt 1:2015-10 Begriffe der Bau- und Gebäudetechnik (Terminology of civil engineering and building services)