

5. Natürliche Belichtung und künstliche Beleuchtung

Schlussentwurf 12/2017

Ersatz für Stand Dezember 2009

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines	3
1.1. Leuchtdichte und Reflexionsgrad	3
2. Tageslicht	4
2.1. Allgemeines	4
2.2. Tageslichtplanung	5
2.2.1. Optimierung des Tageslichteintrags und des Tageslichtspektrums	5
2.2.2. Spezifische Anforderungen an die Tageslichtplanung von Unterrichts- und Arbeitsräumen	6
2.2.3. Vermeidung von Überwärmung	7
2.2.4. Sonnenschutz	7
2.2.5. Blendschutz	7
2.2.6. Bildschirmarbeitsplätze	8
3. Künstliche Beleuchtung	9
3.1. Allgemeines	9
3.2. Kunstlichtplanung	9
3.2.1. Beleuchtungsstärke E	9
3.2.1.1. Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe	10
3.2.1.2. Neuwert der Beleuchtungsstärke und Wartungsfaktor, Wartung	10
3.2.1.3. Beleuchtungsstärke auf Oberflächen	11
3.2.1.4. Zylindrische Beleuchtungsstärke	11
3.2.2. Gleichmäßigkeit U_0	11
3.2.3. Blendung UGR_L	13
3.2.3.1. Abschirmung gegen Blendung	13
3.2.4. Farbe und Farbwiedergabe R_a	14
3.2.5. Biologisch wirksames Licht	14
3.2.6. Lichtsysteme und Leuchten	14
3.2.6.1. Funktion der Leuchten	14
3.2.6.2. Leuchtmittel	15
3.2.6.3. Flimmern und Pulsation	15
3.2.6.4. Lichtschaltung / Lichtsteuerung / Verdunkelung	15
3.2.7. Wahl der Beleuchtungsart	17
3.2.7.1. Unterrichtsräume	17
3.2.7.2. Bibliotheken	17
3.2.7.3. Werkräume, Laboratorien	17
3.2.7.4. Sporthallen, Gymnastikräume	17
3.2.7.5. Gänge und Erschließungsbereiche	17
3.2.7.6. Naturwissenschaftliche und Mehrzweckräume	18
3.2.7.7. Erweiterte Nutzung anderer Räume	18
3.2.7.8. Hörsäle	18
3.2.7.9. Zusatzbeleuchtungen	18
3.2.8. Not- und Sicherheitsbeleuchtung	18
3.2.9. Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz	19
4. Anhang	20
4.1. Normen und Regelwerke	20
4.2. Weiterführende Literatur	20
4.3. Definitionen	21
4.3.1. Sehen	21
4.3.2. Belichtung und Beleuchtung	21
4.3.3. Transparente Bauteile und Verschattung	22

1. Allgemeines

Die Beleuchtungsplanung ist ein wichtiger Bestandteil der Gesamtplanung von Schulgebäuden, der die Einbindung von FachplanerInnen erfordert.

Kunstlicht kann Tageslicht in seiner Gesamtheit und Wirkung nicht ersetzen; möglichst unverfälschtes Tageslicht gilt daher als Haupt-Beleuchtungsquelle. Künstliche Beleuchtung kommt als Lichtergänzung und/oder als jahreszeiten- bzw. witterungsbedingter Lichtersatz zum Einsatz.

Bei der Planung von Schulgebäuden ist auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen sowohl zwischen Tages- und Kunstlicht als auch zwischen den einzelnen Funktionseinheiten (Unterrichtsräume, Aufenthaltsbereiche, Verwaltung, Sport etc.) zu unterscheiden.

Bei Unterrichts- und Arbeitsräumen stehen sowohl bei der Tageslicht- als auch bei der Kunstlichtplanung die arbeitsplatzspezifischen Anforderungen an die Lichtqualität eines Raumes im Vordergrund.

Das menschliche Leistungsverhalten ist abhängig von der Lichtsituation im Raum und der damit verbundenen Sehleistung sowie biologischen und psychologischen Wirkung. Licht kann das Konzentrationsvermögen und die aktive Mitarbeit fördern, aber auch ablenken.

Die Beleuchtung im Unterrichts- und Arbeitsraum soll den Sichtkontakt sowohl zwischen der Lehrperson und den Lernenden als auch zwischen den Lernenden untereinander ermöglichen. Die Unterrichtsmedien und -unterlagen sollen ohne Anstrengung wahrnehmbar und zu bearbeiten sein.

In Aufenthaltsbereichen, die in erster Linie der Freizeit dienen, sowie Verkehrsflächen ist es empfehlenswert, differenzierte Lichtmilieus (auch direktes Sonnenlicht) zu schaffen. Differenzierte Kunstlichtmilieus sind kein Tageslichtersatz, verleihen dem jeweiligen Raum jedoch eine spezifische Ausdrucksform.

In Bereichen, die sowohl für Lernsettings als auch Freizeit zur Verfügung stehen (Offene Lernzonen etc.), sind die jeweiligen Funktionen klar zu definieren und in einer detaillierten Lichtplanung zu konkretisieren.

1.1. Leuchtdichte und Reflexionsgrad

Um ein Bild der Umgebung zu erhalten, nimmt das menschliche Auge nicht das primäre Licht, das durch die Beleuchtungsstärke (E) definiert und in lx gemessen wird wahr, sondern das reflektierte Licht, das durch die Materialstruktur der Oberflächen moduliert wird. Dieses reflektierte Licht wird durch die Leuchtdichte (L) definiert und in cd/m^2 gemessen.

Die für das menschliche Auge wahrnehmbare Beleuchtung wird durch die Leuchtdichteverhältnisse und die Reflexionsgrade der Oberflächen definiert.

Die Verteilung der Leuchtdichten auf verschiedenen Flächen in einem beleuchteten Raum ist ein wichtiges Kriterium für die visuelle Qualität.

Aus der Leuchtdichteverteilung lassen sich Aussagen zu den im Sichtfeld auftretenden Kontrasten treffen. Während hohe Kontraste der tätigkeitsrelevanten Sehobjekte für eine gute Erkennung erforderlich sind, sollten Kontraste zwischen dem Bereich der Sehaufgabe und dem unmittelbaren Umfeld nicht zu groß sein. Dies würde bei Blickwechsel dazu führen, dass das Auge permanent auf unterschiedliche Helligkeitsniveaus adaptieren muss und somit schneller ermüdet. Auf der anderen Seite ist eine absolut gleichmäßige Leuchtdichteverteilung und die damit verbundene kontrastarme Beleuchtung auch nicht wünschenswert, da dieses Szenario als monoton empfunden wird. Voraussetzung für eine angenehme visuelle Raumkonditionierung ist daher eine ausgeglichene Leuchtdichteverteilung mit gut ausgewogenen Kontrasten, wodurch auch das plastische Erkennen begünstigt wird.

Um eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung zu schaffen, müssen die Leuchtdichten aller Oberflächen beachtet werden. Diese werden vom Reflexionsgrad der Oberflächen und der auf die Oberfläche auftreffenden Beleuchtungsstärke bestimmt. Um den Eindruck von Düsternis zu vermeiden und sowohl das Adaptationsniveau als auch den Sehkomfort anzuheben, werden – insbesondere an Wänden und Decken – matte, diffus reflektierende, helle Oberflächen, empfohlen.

Das Auftreten von Glanz, Spiegelungen und Schatten wird auch durch die Lichteinfallrichtung bestimmt. Dadurch entstehende Störungen können durch helle Decken und Wände mit hohem Reflexionsgrad und geringem Glanz vermindert werden. Ebenso trägt eine Beleuchtung mit hohem Indirektanteil zu einer Reduktion der Störungen durch Glanz, Spiegelungen und Schatten bei.

Tabelle 1: Reflexionsgrade (Richtwerte)

Decke	0.7 bis 0.9
Wände	0.5 bis 0.8
Fußboden	0.2 bis 0.3
Einrichtung, Stellwände, Arbeitsflächen	0.3 bis 0.6

Je dynamischer der Unterricht gestaltet wird, desto öfter wechseln die SchülerInnen ihre Position im Raum, was die Problematik von Leuchtdichteunterschieden relativiert.

Bei vollkommen diffus reflektierenden Oberflächen lässt sich die Leuchtdichte relativ einfach aus der Beleuchtungsstärke und dem Lichtreflexionsgrad berechnen. Daher wird, unter der Annahme eines hinreichend diffusen Reflexionsverhaltens der meisten, in Innenräumen gebräuchlichen Oberflächen, oftmals die leichter zu bestimmende Beleuchtungsstärkeverteilung für die Beurteilung herangezogen.

2. Tageslicht

2.1. Allgemeines

Der menschliche Organismus wurde im Laufe von Jahrtausenden unter der Strahlung der Sonne evolutionär geprägt. Die moderne Gesellschaft hat sich jedoch zur Innenraumgesellschaft mit vergleichsweise wenig Tageslicht entwickelt. Dabei wurde den Auswirkungen auf den Menschen - insbesondere dessen Gesundheit und Leistungsfähigkeit - wenig Bedeutung beigemessen. Dieses Bewusstsein hat sich in den vergangenen Jahren geändert; dem versucht auch die vorliegende Richtlinie Rechnung zu tragen.

Die Sonnenstrahlung ist der Taktgeber des Menschen, stimuliert dessen Psyche, fördert die Leistungsfähigkeit und ist für viele biologische Prozesse unersetzlich, wobei das gesamte Spektrum, von UV bis Infrarot, genutzt wird.

Die Einzigartigkeit der Sonnenstrahlung beruht auf deren spektraler Zusammensetzung sowie Intensität und Dynamik.

Für die Auswirkungen von Tageslicht auf die Gesundheit sind zwei Kennwerte relevant:

- **Lichtspektrum**
Für die Gesundheit ist das gesamte Lichtspektrum des Tageslichts, einschließlich UV- und IR-Anteil, wichtig.
- **Beleuchtungsstärke**
Die Beleuchtungsstärke im Freien unterliegt, abhängig von Jahreszeit und Witterung, großen Schwankungen.

heller Sonnentag	100.000 Lux
bedeckter Sommertag	10.000 Lux
bedeckter Wintertag	3.500 Lux

Lichttechnisch betrachtet besteht Tageslicht aus zwei Komponenten: diffuses Himmelslicht und direktes Sonnenlicht. Je nach Witterung, Tages- und Jahreszeit können diese beiden Komponenten in sehr unterschiedlicher Ausprägung vorkommen; bei geschlossener Wolkendecke ist nur noch diffuses Himmelslicht vorhanden. Abgesehen von der Lichtrichtung unterscheiden sich direktes Sonnenlicht und diffus strahlender klarer Himmel zum einen in der Farbtemperatur (ersteres hat ca. 6.000 K und letzterer ca. 9.000–25.000 K) und zum anderen in der Intensität. Tageszeit, Jahreszeit und Witterung sorgen dafür, dass auch die Farbtemperatur der beiden Komponenten niemals statisch ist.

Die Veränderung der Lichtrichtung während des Tages durch den variierenden Sonnenstand ist eine weitere Qualität. Die Richtung des Schattenwurfs dient dem Menschen zum einen als zeitliche Orientierung, zum anderen

gestalten Lichtbrechung und Schattenwurf Räume. Räume mit dynamischer Belichtung führen in der Regel zu einer hohen Akzeptanz und Leistungsbereitschaft der NutzerInnen.

Tageslicht ist ein wertvolles Gut mit hoher Qualität, das kostenlos zur Verfügung steht. Bei Planer- und NutzerInnen sollte daher ein hohes Bewusstsein für die Relevanz des Tageslichtes vorhanden sein.

2.2. Tageslichtplanung¹

Bei der Planung ist aus didaktischen, betriebswirtschaftlichen, psychologischen und biologischen Gründen eine größtmögliche Ausnutzung von natürlichem Licht anzustreben, wobei gleichzeitig die Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung zu beachten ist.

Die beste Tageslichtversorgung (hohe Beleuchtungsstärke und vollständiges Lichtspektrum) besteht im Freien. Aus diesem Grund spielt im weitesten Sinne auch die Gestaltung und Nutzung der Schulfreiräume in Zusammenhang mit der Tageslichtversorgung eine Rolle (siehe ÖISS Richtlinie 3 „Außenraum – Schulfreiräume“).

Transparente Bauteile sollten unter Berücksichtigung der Wärmeverluste, der solaren Gewinne für passive Raumwärme sowie der Tageslichtnutzung (Reduktion von Kunstlicht und dessen internen Wärmelasten) eine möglichst günstige Energiebilanz erzielen.

Alle Aufenthaltsräume von Personen, insbesondere Unterrichts- und Arbeitsräume, sind mit möglichst horizontalen Sichtbeziehungen nach außen auszuführen, wobei der Sichtkontakt nach außen von jedem Punkt des Raumes aus möglich sein sollte. In Hinblick auf die Qualität des Ausblicks sollten von den Sichtbezugsbereichen Himmel, (Stadt-)Landschaft und Boden zumindest jeweils zwei wahrgenommen werden können. Dem Blick in die direkte Sonne muss durch geeignete Maßnahmen vorgebeugt werden; vor allem in Unterrichts- und Arbeitsräumen ist auch eine Blendung durch große Leuchtdichteunterschiede zu vermeiden

Ein Verzicht auf die horizontale Sichtverbindung nach außen ist im Einzelfall speziell festzulegen. Dies ist nur bei Räumen, in denen sich nicht ständig Personen aufhalten bzw. wenn funktionelle Vorteile damit verbunden sind (z.B. Turnhallen, Instrumentalübungszellen), zweckmäßig.

Auch Erschließungsflächen sollen natürlich belichtet und belüftet sein.

Die Größe der Fensterflügel und Glasfelder ist auf eine möglichst effiziente Reinigung und Erhaltung abzustimmen. Um die Reinigung und Wartung durchzuführen, sollen keine zusätzlichen Vorrichtungen (z.B. Gerüst) erforderlich sein (siehe auch Kapitel 4 „Bauphysik, Raumklima und Energieeffizienz“).

Bei großen Glasflächen und solchen mit Durchsicht auf Grünbereiche sind Maßnahmen gegen den Anprall von Vögeln festzulegen.

Bei der Planung von Beschattungen (Sonnen- und/oder Blendschutz, starr oder beweglich) ist darauf zu achten, dass diese die Tageslichtnutzung nicht beeinträchtigen – siehe 2.2.5. und 2.2.6.

Das Nutzerverhalten hat wesentlichen Einfluss auf die Tageslichtnutzung, insbesondere zu Zeiten eines geringeren Lichtangebots. Deshalb ist eine Anleitung zur richtigen Tageslichtnutzung (inkl. Bedienung des Sonnen- und Blendschutzes) empfehlenswert.

2.2.1. Optimierung des Tageslichteintrags und des Tageslichtspektrums

Die Optimierung des Tageslichteintrages und des Tageslichtspektrums ist für Aufenthaltsräume, insbesondere für Unterrichtsräume, Arbeitsräume und offene Lernzonen, besonders wichtig. Gleichzeitig sind Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung zu treffen.

In Hinblick auf die Optimierung des Tageslichteintrags sind folgende Planungskriterien förderlich:

- Möglichst helle Oberflächen von Fensterbrettern, Decken und Wänden (wirken lichtlenkend)
- Tageslichtöffnungen – sofern möglich – von mehreren Seiten (ausgenommen Tafel- und Projektionswände) und/oder von oben (bevorzugt Shedlösungen mit Nordorientierung)
- Hohe Fensteröffnungen ohne Sturz (stellen eine tief in den Raum reichende Belichtung sicher) – siehe auch 2.2.2.

¹ Zu diesem Thema erscheint demnächst die ÖNORM EN 17037 – Tageslicht in Gebäuden (in Vorbereitung)

- Einsatz von geeigneten Tageslicht-Umlenkssystemen, welche die direkte Sonneneinstrahlung ausblenden und die Himmelsstrahlung zur natürlichen Belichtung bis tief in das Rauminnere nutzen
- Einsatz von Blendschutzvorrichtungen, die auch eine Tageslichtversorgung gewährleisten – siehe auch 2.2.6.
- Leicht zu reinigende Fenster (Verschmutzung reduziert Tageslichteintrag)
- Transparente Bauteile bzw. Gläser, die einen optimalen Lichteintrag sowie einen unverfälschten Sichtbezug nach Außen (verzerrungsfrei, farblich unverfälscht und ohne Zerlegung des Bildes) ermöglichen

Planungskriterien für Gläser (transparente Bauteile) in Hinblick auf die Optimierung der Wiedergabe des Tageslichtspektrums:

- Vermeidung von Sonnenschutzgläsern - die Ausrüstung mit Einfärbungen, Beschichtungen oder Folien kann die spektrale Zusammensetzung von Tageslicht verändern.
- Lichttransmissionsgrad bei 2-Scheibenverglasungen $\geq 75\%$, bei 3-Scheibenverglasungen $\geq 65\%$
- Transparente Bauteile / Gläser mit Farbwiedergabeindex von $R_a \geq 95$
- Transparente Bauteile / Gläser im Spektrum von 360 bis 1000 nm.

Anmerkung: Um die Lichtqualität besser beurteilen zu können, sollten auch die spektralen Transmissionskoeffizienten von transparenten Bauteilen herangezogen werden. Der Farbwiedergabeindex allein ermöglicht nicht die erforderlichen Rückschlüsse auf die Wiedergabe des Tageslichtspektrums.

2.2.2. Spezifische Anforderungen an die Tageslichtplanung von Unterrichts- und Arbeitsräumen

Unterrichtsräume weisen i.d.R. relativ große Raumtiefen auf, die oft nur von einer Seite aus belichtet werden. Dies bedingt bei freiem Lichteinfall eine ungleichmäßige Lichtverteilung mit großen Beleuchtungsstärken direkt bei den Fenstern, die mit zunehmender Raumtiefe rasch abnehmen

Um im Interesse aller Arbeitsplätze die natürliche Belichtung über die volle Raumtiefe bestmöglich zu gewährleisten, soll die lichte Raumhöhe 3,20 m keinesfalls unterschreiten (siehe auch Kapitel 6 „Räumliche Anforderungen für Unterrichtsräume“) und soll die Fensterwand optimal für Fensterflächen genutzt werden.

In Hinblick auf die Positionierung der Heizkörper und weitere Abstellmöglichkeiten sowie auf die Erhaltung (siehe auch Kapitel 12 „Sicherheit und gesunde Lernumgebung“) sollten in Unterrichtsräumen Parapete vorgesehen werden.

Die Fensterflächen sollten über den Parapeten bis zur Decke (ohne Sturz) und möglichst gleichmäßig über die gesamte Länge der Fensterwand angeordnet werden. Als Orientierungswerte für Fensterflächen von Unterrichtsräumen gelten ca. 1/5 (Glaslichte) bis 1/4 (Architekturlichte) der Fußbodenfläche. Mauerpfeiler sollten minimiert werden; Breiten von Mauerpfeilern von mehr als 1 m sind zu vermeiden.

Oberlichten zu den Gängen erhöhen den Lichteintrag nicht maßgeblich, leisten aber einen wertvollen Beitrag zur Raumqualität.

Fenster in Tafelwänden (fixe Tafeln) sowie in Wänden, auf die projiziert wird, sollten vermieden werden.

Als Nachweis der Minimalbelichtung ist eine Tageslichtberechnung oder Simulation durchzuführen. Da wie o.a. in Unterrichtsräumen einer möglichst tief ins Rauminnere reichenden Tageslichtversorgung besondere Bedeutung zukommt, definiert diese Richtlinie eine Mindestanforderung an die Belichtung, welche über die zukünftige Mindestanforderung nach EN 17037² hinausreicht:

In 6 m Raumtiefe sollte ein Tageslichtquotient (D) von mindestens 1% bei freiem Lichteinfall und bedecktem Himmel nach CIE³ erreicht werden. Dieser Wert gilt unter Berücksichtigung des freien Lichteinfalls gemäß OIB-

² in Vorbereitung

³ Gemäß IEC 60050-845 berechnet sich der Tageslichtquotient im Innenraum bei einem diffusen Himmelszustand wie folgt: $D (\%) = 100 \% \times (E_i / E_a)$

D ... Tageslichtquotient an einem bestimmten Punkt auf Arbeitshöhe (oft auch als TQ bezeichnet)

E_i ... Horizontale Innenbeleuchtungsstärke (lux) in einem Punkt im Inneren des Raumes

RL3/2015 (Abs. 9.1.2), des Farbkonzeptes (Reflexionswerte der Oberflächen) der Möblierung auf einer Nutzebene von 0,85m über dem Fußboden abzüglich eines Randbereiches von 0,5 m.

Ungünstige bauliche Gegebenheiten (z.B. Verschattung durch das Gelände oder Nachbargebäude) können insbesondere in den unteren Geschoßen zu Unterschreitungen dieses Zielwerts führen. In diesem Fall ist eine Anpassung der Raumnutzung (keine Arbeitsräume) oder ggf. der Architektur (z.B. Schrägverglasungen, Oberlichter) zu prüfen, benachteiligte Raumbereiche sind gezielt durch die Kunstlichtbeleuchtung zu unterstützen.

2.2.3. Vermeidung von Überwärmung

Unterrichtsräume und vergleichbare Räume mit hoher Personenbelegung haben ein erhöhtes Risiko hinsichtlich Überwärmung⁴. Überwärmung führt zu Konzentrationsstörungen und wirkt leistungsmindernd. Naturgemäß nimmt das Überwärmungsrisiko drastisch zu, wenn die Außentemperaturen steigen, aber auch interne Wärmelasten (z.B. Computer, künstliche Beleuchtung) tragen dazu bei. Unter ungünstigen Bedingungen kann die Summe der Überwärmungsstunden in den Unterrichtsräumen auf etwa ein Vierteljahr klettern.

Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung sind im Kapitel 4 „Bauphysik, Raumklima und Energieeffizienz“ beschrieben.

2.2.4. Sonnenschutz

In Hinblick auf die Aufenthaltsqualität ist eine natürliche Besonnung der Fenster von Unterrichtsräumen empfehlenswert. Bei Aufenthaltsräumen, in die direktes Sonnenlicht einfallen kann, ist ein einstellbarer Sonnenschutz als präventive Maßnahme gegen Überwärmung vorzusehen. Die Sonnenschutzanlage sollte mit einer automatischen Steuerung, jedenfalls mit Nutzereingriff ausgestattet sein. Die Art der Steuerung ist auf die Anforderungen des Nutzers abzustimmen. Kommt projektspezifisch eine Kunstlichtsteuerung zum Einsatz (siehe 3.2.6.4.), so sollten beide Systeme aufeinander abgestimmt werden. Zwecks Wartung sollten die Sonnenschutzanlagen leicht zugänglich sein.

Außenliegenden Sonnenschutzsystemen ist bezüglich der sommerlichen Überwärmung der Vorzug zu geben. Außen angebrachte Verschattungen müssen für die ortsüblichen Windbelastungen ausgelegt sein, sowie vor Frost in Verbindung mit Feuchtigkeit geschützt sein.

Wo Blendschutz nicht die wichtigste Anforderung ist, wie z.B. in offenen Lernzonen oder auf Verkehrsflächen (dynamisches Nutzungsverhalten), können an Südfassaden auch starre Beschattungen (Auskragungen, Gitterroste, vorgehängte Verkleidungen) geeignete Sonnenschutzmaßnahmen darstellen. Sie sollten im Sommer den Eintritt von direkter Sonneneinstrahlung verhindern, aber das zenitale Himmelslicht durchlassen, den Blick nach außen nicht beeinträchtigen und den gesamten Bauteil (Glas, Rahmen und Fensterstock) verschatten. Auskragungen ohne Lichtdurchlass sollten vermieden werden.

Fixe, außenliegende Sonnenschutzeinrichtungen sind außerdem auf das Entfluchtungskonzept abzustimmen.

Sonnenschutz auf Basis von Systemen, welche den Eintrag von Sonnenlicht durch selektive Filter (Beschichtungen oder Folien) mindern, ist zu vermeiden bzw. projektspezifisch kritisch zu prüfen, da diese das Lichtspektrum verändern und dadurch die biologische Wirkung von Tageslicht einschränken.

Je nach Art der außenliegenden Beschattungseinrichtung kann diese auch gleichzeitig die Funktion des Blendschutzes (siehe 2.2.6.) erfüllen, sofern die Eigenschaften und Einstellungsmöglichkeiten den jeweiligen Anforderungen gerecht werden können. Darüber hinaus kann ggf. zusätzlich die Funktion der Lichtlenkung übernommen werden.

Ea ... Horizontale Außenbeleuchtungsstärke (lux) im Freien bei gleichmäßig bedecktem Himmel

⁴ operative Raumtemperatur > 27°C gemäß ÖNORM B8110-3 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinstrahlung (derzeit in Überarbeitung), gemäß Arbeitnehmerschutzverordnung >26°C

2.2.5. Blendschutz

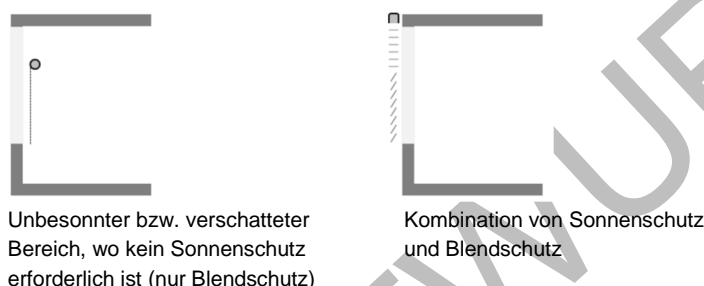
Blendung durch Tageslicht kann durch direkt einfallendes Sonnenlicht, durch zu hohe Kontraste bzw. Leuchtdichteunterschiede, oft ausgelöst durch ungünstige Reflexionen, auftreten.

Der direkte Blick in die Sonne muss zum Schutz des Auges immer vermieden werden.

Das Blendungsrisiko wird von der Art der Tätigkeit determiniert; bei Bildschirmarbeit beispielsweise ist es erhöht.

Sonnen- bzw. Blendschutz-Vorrichtungen werden gemäß ÖNORM EN 14501 klassifiziert, wobei zusätzlich zur Blendschutz-Funktion weitere Eigenschaften, abgestimmt auf das jeweilige Tageslicht- und Sonnenschutzkonzept, zu berücksichtigen sind:

- Sichtkontakt nach außen (trotz Blendschutz sollte es ein Mindestmaß an Sichtkontakt geben)
- Tageslichtnutzung (steht im Widerspruch zum Blendschutz, daher stets reduziert)
Beispielsweise durch vertikale Zonierung der Fensterfläche, womit bei tiefstehender Sonne der erforderliche Blendschutz im Durchsichtsbereich gewährleistet wird, während die Oberlichte die Tageslichtnutzung (freier Lichteinfall oder Lichtumlenkung) ermöglicht.



Grafik 1: Beispiele für Zonierung der transparenten Bauteile in Durchsichtsbereich und Tageslichtversorgung

Tabelle 2: Für Unterrichts- und Arbeitsräume sollten Blendschutz-Vorrichtungen folgende Klassifizierungen nach ÖNORM EN 14501 erfüllen (die höheren Werte gelten insbesondere bei Blendung durch direkte Sonne):

	Blendschutz	Sichtkontakt	Tageslichtnutzung	Farbwiedergabe
Unterrichts-/Arbeitsräume	1 bis 3	2 bis 3	0 bis 1	> 90%
Bildschirmarbeitsplätze	3 bis 4	1 bis 2	0 bis 1	> 90%

Klasseneinteilung / Auswirkung: 0 = sehr gering, 1 = gering, 2 = mäßig, 3 = hoch, 4 = sehr hoch

Soll die Blendschutz-Funktion durch die Außenbeschattung mit übernommen werden, so ist dies bei der Ermittlung der solaren Gewinne für die Raumwärme zu berücksichtigen. Raumseitiger Blendschutz ist witterungsunabhängig, muss aber brandbeständig ausgeführt werden und möglichst resistent hinsichtlich Vandalismus sein.

2.2.6. Bildschirmarbeitsplätze

Bildschirmarbeit und natürliche Belichtung stellen eine besondere Herausforderung dar, da die Leuchtdichten der unverschatteten Fensterflächen psychologische Blendung verursachen können.

Um Bildschirmarbeitsplätze natürlich belichten zu können, sollte Tageslicht im Über-Kopf-Bereich der Fenster an die Decke gelenkt werden und der untere Fensterbereich mit einer temporären Blendschutz-Vorrichtung ausgerüstet werden. In Hinblick auf die fortschreitende Digitalisierung des Unterrichts und der Arbeitswelt sind diese Bestimmungen als allgemeine Anforderungen zu betrachten.

Insbesondere bei fix möblierten Räumen ist eine Anordnung der Arbeitsplätze parallel zur Fensterwand zu vermeiden.

3. Künstliche Beleuchtung

3.1. Allgemeines

Visueller Komfort wird durch ausgewogene Beleuchtung ohne nennenswerte Störungen wie Direkt- und/oder Reflexblendung, ein ausreichendes Beleuchtungsniveau sowie die individuelle Anpassung an die jeweiligen Bedürfnisse erreicht.

Gemäß ÖNORM EN 12464-1 bedingt gute Beleuchtung, dass zusätzlich zu den geforderten Beleuchtungsstärken quantitative und qualitative Anforderungen erfüllt werden. Die Anforderungen an die Beleuchtung werden bestimmt durch die Zufriedenstellung von drei grundsätzlichen Bedürfnissen des Menschen:

- Sehkomfort, bei dem die Arbeitspersonen ein Gefühl des Wohlbefindens haben; dies trägt auf indirekte Art auch zu einer höheren Produktivität und einer höheren Arbeitsqualität bei
- Sehleistung, mit der die Personen in der Lage sind, ihre Sehaufgaben auszuführen, selbst unter schwierigen Umständen und über längere Zeiträume hinweg
- Sicherheit

Hauptsächliche Einflussgrößen sind:

- Beleuchtungsstärke / Gleichmäßigkeit
- Leuchtdichteverteilung und Kontraste
- Blendungsbegrenzung
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe des Lichts
- Glanz, Spiegelung und Schatten
- Flimmern und Pulsation

3.2. Kunstlichtplanung

Die Kunstlichtplanung ist auf das geplante Raumfarbkonzept abzustimmen.

3.2.1. Beleuchtungsstärke E

Siehe Tabelle 4, S. 12

Die Beleuchtungsstärke und die zugehörige Beleuchtungsstärkeverteilung auf einer definierten Bezugsfläche sind einfach und rasch zu messende Kenngrößen, um das Erreichen der Zielwerte einer Beleuchtungsplanung zu überprüfen. Die Beleuchtungsstärke selbst gilt als Indikator dafür, wie schnell und fehlerfrei eine Person die definierte Sehaufgabe erfüllen kann.

In den meisten Fällen sind die zu beleuchtenden Bezugsflächen entweder horizontal oder vertikal orientiert. Entsprechend werden in diesen Fällen die horizontale Beleuchtungsstärke, z.B. bei Schreibtischen oder Werkbänken, sowie die vertikale Beleuchtungsstärke, z.B. bei Wandtafeln, gemessen.

Sollte darüber hinaus in speziellen Einzelfällen eine höhere Beleuchtungsstärke erforderlich sein, so ist diese durch eine entsprechende Arbeitsplatzbeleuchtung herzustellen.

Bei Plätzen für Sehbehinderte ist die Beleuchtungsstärke durch zonale Beleuchtung (= Beleuchtung am unmittelbaren Arbeitsplatz) bis zum doppelten Wert der erforderlichen mittleren Beleuchtungsstärke zu erhöhen - vgl. ÖNORM B 1602.

Zugangswege im Freien sind mit einer entsprechenden Beleuchtung von mind. 5 - 10 lx auszustatten.

3.2.1.1. Beleuchtungsstärken im Bereich der Sehaufgabe

Da in herkömmlichen Unterrichtsräumen Möglichkeiten zur flexiblen Aufstellung der SchülerInnen-Arbeitsplätze (Sessel und Tische) gewährleistet werden müssen, können keine konkreten Arbeitsplatzbeleuchtungen definiert werden und es ist der gesamte Unterrichtsraum als Bereich der Sehaufgabe mit einem umlaufenden Umgebungsbereich zu betrachten:

Zu unterscheiden ist dabei zwischen überwiegend gerichteten und überwiegend ungerichteten Unterrichtsräumen:

- Bei ungerichteten Unterrichtsräumen ist der Umgebungsbereich ein allseits umgebender Streifen mit einer Breite von 65 cm
- Bei gerichteten Unterrichtsräumen setzt sich der Umgebungsbereich aus zwei seitlichen Streifen mit einer Breite von jeweils 65 cm, einem Streifen an der Rückwand mit einer Breite von 75 cm und einem Streifen an der Tafel- bzw. Projektionswand mit einer Breite von 150 cm zusammen. Bei der Ausstattung mit grünen oder schwarzen Kreidetafeln ist zusätzlich eine Tafelbeleuchtung vorzusehen.

Hintergrundbereiche im Sinne der ÖNORM EN 12464-1 kommen in Unterrichtsräumen nicht vor. Die Bereiche der Sehaufgabe sollen daher nach Möglichkeit in den Raumzonen mit hoher Beleuchtungsstärke liegen.

Tabelle 3 stellt die erforderlichen Beleuchtungsstärken differenziert in Bereich der Sehaufgabe und Umgebungsbereich dar.

Tabelle 3: Zusammenhang zwischen den Beleuchtungsstärken des unmittelbaren Umgebungsbereichs zur Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe⁵

Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe E_{Aufgabe} lx	Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{Aufgabe}
100	E_{Aufgabe}
≤ 50	E_{Aufgabe}

3.2.1.2. Neuwert der Beleuchtungsstärke und Wartungsfaktor, Wartung

In den Regelwerken werden generell die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke angegeben. Der Grund dafür liegt in der Alterung der Leuchtmittel sowie in der Verschmutzung der Leuchten und Raumbegrenzungsflächen. Daraus folgt, dass bei einer neu errichteten Beleuchtungsanlage die gemessenen Beleuchtungsstärkenwerte, die sogenannten Neuwerte, immer höher sein müssen als zum Zeitpunkt einer geplanten Wartung. Für die Ermittlung des Neuwertes einer Beleuchtungsanlage ist der Wartungswert durch den Wartungsfaktor zu dividieren. Der Wartungsfaktor ist unter anderem von den Wartungsintervallen abhängig. Bei Beleuchtungsanlagen mit erschwerter Zugänglichkeit der Leuchten, wie es z.B. in der Aula oft der Fall ist, ist daher ein entsprechend geringerer Wartungsfaktor anzusetzen.

Folgende exemplarische Wartungsfaktoren gelten bei entsprechend sauberen Umgebungsbedingungen als Orientierungswerte: Leuchten mit LEDs Wartungsfaktor 0,72, Leuchten mit Leuchtstofflampen (LL) Wartungsfaktor 0,67

Der/die FachplanerIn hat den, den Berechnungen zugrunde zu legenden Wartungsfaktor zu ermitteln und darzustellen. Die Grundlagen zu diesen Werten sind gemeinsam mit dem Nutzer festzulegen und können projektbezogen niedriger als die empfohlenen Werte angesetzt werden.

⁵ Tabelle entspricht ÖNORM EN 12464-1, Tabelle 1

Die Beleuchtungssysteme sind in regelmäßigen Abständen zu warten (Sichtkontrollen, Reinigung der Reflektoren und Abdeckungen, Lampentausch etc.) – siehe auch Kapitel „Betriebshinweise“.

Der Wartungsbedarf steht in Zusammenhang mit den Reinigungsmethoden. Bei entsprechenden Reinigungsmethoden im Gebäude (Reinigung mit fahrbaren Nassgeräten, Dampfreinigung etc.) erscheint ein 2-jähriges Wartungsintervall für die Beleuchtungssysteme als ausreichend. Abweichungen und Details sind mit dem Nutzer abzustimmen und zu vereinbaren.

Ein Wartungshandbuch ist im Zuge der Planung zu erstellen; diesem liegt der ermittelte Wartungsfaktor zu Grunde.

3.2.1.3. Beleuchtungsstärke auf den Oberflächen

In allen umschlossenen Bereichen sollten die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke auf den Hauptoberflächen folgende Werte aufweisen:

- $\bar{E}_m > 50$ lx mit $U_0 \geq 0,10$ an den Wänden und
- $\bar{E}_m > 30$ lx mit $U_0 \geq 0,10$ an der Decke

U_0 siehe 3.2.2.

3.2.1.4. Zylindrische Beleuchtungsstärke

Für das Erkennen von Gegenständen und Gesichtern sowie zur Unterstützung der Kommunikation im Unterricht oder bei Vorträgen ist neben einer ausreichenden Beleuchtungsstärke auch das Vorhandensein von Schatten erforderlich. Nur wenn die Mischung aus Lichtrichtung und Schattigkeit entspricht, erscheinen Gegenstände plastisch und werden Entfernungen gut abschätzbar. Die Ausgewogenheit zwischen diffusem und gerichtetem Licht wird als Modelling bezeichnet und messtechnisch aus dem Verhältnis zwischen der zylindrischen und der horizontalen Beleuchtungsstärke an einem Punkt bestimmt.

Der Wartungswert der mittleren zylindrischen Beleuchtungsstärke (Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärke) in Tätigkeits- und Innenraumbereichen darf für sitzende Personen auf einer horizontalen Ebene in einer Höhe von 1,2 m über Fußbodenoberkante (FOK) und für stehende Personen auf einer horizontalen Ebene von 1,6 m über FOK nicht weniger als 50 lx mit $U_0 \geq 0,10$ betragen.

3.2.2. Gleichmäßigkeit U_0

Siehe Tabelle 4, S. 12

Da für die Beurteilung der Qualität einer Beleuchtung ein einzelner Beleuchtungsstärkewert wenig aussagekräftig ist, wird die Verteilung der Beleuchtungsstärke in einem normativ festgelegten Raster gemessen. Aus den einzelnen Messwerten werden der Mittelwert und der Minimalwert der Beleuchtungsstärke bestimmt und daraus die Gleichmäßigkeit ermittelt.

Im Hinblick auf eine Gleichwertigkeit aller Arbeitsplätze im Unterrichtsraum muss dieser so gleichmäßig wie möglich beleuchtet sein; siehe dazu auch EN 12464-1.

Für den Bereich der Sehaufgabe, den Bereich der Tätigkeit oder den Innenraumbereich ist die jeweils geforderte Gleichmäßigkeit in der Tabelle 4 angegeben. Die Gleichmäßigkeit U_0 für den unmittelbaren Umgebungsbereich ist mit 0,40 festgelegt.

In didaktisch begründeten Ausnahmen wie z.B. dunkle Bereiche (Projektionsflächen) oder besonders hellen Aktionsbereichen kann von den normativen Anforderungen der Gleichmäßigkeit abgewichen werden.

Tabelle 4: Beleuchtungsstärken gemäß ÖNORM EN 12464-1⁶

Art des Innenraum(bereich)s, des Bereichs der Sehaufgabe oder des Bereichs der Tätigkeit	\bar{E}_m lx	UGR _L	U ₀	Ra	Spezifische Bedingungen
Unterrichtsräume, Seminarräume, Offene Lernzonen	300	19	0,60	80	
Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500	19	0,60	80	
Hörsäle	500	19	0,60	80	
Schwarze und grüne Wandtafeln	500	19	0,70	80	Spiegelnde Reflexionen müssen vermieden werden. Vortragende/Lehrpersonen müssen mit einer angemessenen vertikalen Beleuchtungsstärke beleuchtet werden
Demonstrationstisch	500	19	0,70	80	In Hörsälen 750 lx
Zeichensäle	500	19	0,60	80	
Zeichensäle in Kunstschulen	750	19	0,70	90	5000 K < T _{CP} < 6500 K
Räume für technisches Zeichnen	750	16	0,70	80	
Übungsräume und Laboratorien	500	19	0,60	80	
Handarbeitsräume	500	19	0,60	80	
Lehrwerkstätten	500	19	0,60	80	
Musikübungsräume	300	19	0,60	80	
Computerübungsräume	300	19	0,60	80	
Sprachlaboratorien	300	19	0,60	80	
Vorbereitungsräume und Werkstätten	500	22	0,60	80	
Eingangshallen	200	22	0,40	80	
Verkehrsflächen, Flure	100	25	0,40	80	
Treppen	150	25	0,40	80	
Gemeinschaftsräume für SchülerInnen/ StudentInnen, Versammlungsräume	200	22	0,40	80	
Arbeitsräume für PädagogInnen	300	19	0,60	80	
Bibliotheken: Bücherregale	200	19	0,60	80	
Bibliotheken: Lesebereiche	500	19	0,60	80	
Lehrmittelsammlung	100	25	0,40	80	
Sporthallen, Gymnastikräume, Schwimmbäder	300	22	0,60	80	Für Trainingsbedingungen siehe ÖNORM EN 12193
Speisesäle	200	22	0,40	80	
Küchen	500	22	0,60	80	

Copyright ÖISS
Kopieren und Nachdruck verboten

⁶ Tabelle entspricht inhaltlich weitgehend ÖNORM EN 12464-1, Tabelle 5.36

3.2.3. Blendung UGR_L

Siehe Tabelle 4, S. 12

In Abhängigkeit von der Helligkeit der Blendquelle wird zwischen physiologischer Blendung (Disability Glare) und psychologischer Blendung (Discomfort Glare) unterschieden.

Bei Unterrichtsräumen im Innenraum ist physiologische Blendung in der Regel kein wesentliches Problem, wenn die Grenzen für psychologische Blendung eingehalten werden, die durch das nachfolgend beschriebene UGR Verfahren gemäß ÖNORM EN 12464 geregelt sind.

Psychologische Blendung wirkt sich negativ auf die Konzentration und Leistungsfähigkeit der NutzerInnen aus. Weiters wird auch zwischen Direktblendung und Reflexblendung unterschieden.

Direktblendung wird durch die Lichtquellen selbst, etwa Leuchten, leuchtende Flächen oder Tageslichtöffnungen, hervorgerufen. Bei Kunstlichtszenarien ist eine Bewertung der Direktblendung im Allgemeinen mit Hilfe des UGR Verfahrens möglich. Für Tageslichtszenarien gibt es zum Zeitpunkt der Erstellung der Richtlinie kein allgemein gültiges Verfahren zur Blendungsbewertung.

Die empfohlenen UGR -Grenzwerte bilden eine Reihe, deren Stufen eine merkliche Änderung der Blendung darstellen. Die Folge der UGR -Werte ist: 10,13, 16, 19, 22, 25, 28. Eine Beleuchtungsanlage sollte in die jeweilige UGR Klasse eingeordnet werden (z. B. „19“). Der UGR-Wert kann durch die Tabellenmethode ermittelt werden. UGR Tabellen werden von den Herstellern in Katalogen oder in Datenbanken zur Verfügung gestellt. Um eine erste Auswahl von Leuchten zu ermöglichen, empfiehlt sich der Tabellenwert des Referenzraumes UGR_R (4H/8H), ermittelt mit dem Abstands-/Höhenverhältnis von 0,25.

Reflexblendung entsteht durch hohe Leuchtdichten auf stark reflektierenden Materialien und Oberflächen sowie Bildschirmen. Durch den resultierenden reduzierten Kontrast wird die Sehaufgabe erschwert. Störende Reflexionen sollen vermieden bzw. hintangestellt werden, dies wird durch folgende Maßnahmen unterstützt:

- Oberflächenbeschaffenheit (matte Oberflächen)
- Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten und der Tageslichtöffnungen
- helle Decken und Wände
- Anordnung der Arbeitsplätze in Bezug zu den Leuchten

3.2.3.1. Abschirmung gegen Blendung

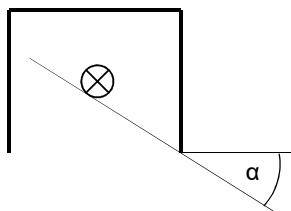
Helle Lichtquellen können Blendung hervorrufen und das Sehen von Objekten beeinträchtigen. Dies muss z. B. durch geeignete Abschirmung von Lampen und Dachoberlichtern oder durch Abschattung von hellem Tageslicht bei Fenstern vermieden werden.

Bei Leuchten müssen für festgelegte Lampen-Leuchtdichten die zugehörigen Mindestabschirmwinkel im Gesichtsfeld entsprechend der EN 12464-1 eingehalten werden.

Tabelle 5: Mindestabschirmwinkel bei festgelegten Lampen-Leuchtdichten⁷:

Leuchtdichte von Lampen kcd m^{-2}	Mindestabschirmwinkel α
20 bis <50	15°
50 bis <500	20°
≥ 500	30°

Grafik 2: Abschirmwinkel α



⁷ Tabelle und Grafik entsprechen ÖNORM EN 12464-1

3.2.4. Farbe und Farbwiedergabe Ra

Siehe Tabelle 4, S. 12

Die möglichst wirklichkeitsgetreue Wiedergabe von Farben ermöglicht u.a. das richtige Erkennen von Unterrichtsmitteln und -materialien. Die Qualität der Wiedergabe von Farben bei künstlicher Beleuchtung wird durch den allgemeinen Farbwiedergabeindex Ra beschrieben, wobei ein Ra-Wert von 100 bedeutet, dass die Farben wie bei Tageslicht wiedergegeben werden.

Für Kunstlicht muss ein Farbwiedergabeindex von mindestens 80 (gemäß Tabelle ÖNORM EN 12464-1) erreicht werden.

Neben der Wiedergabe von Farben ist auch die „Eigenfarbe“ des Lichts für den Raumeindruck von Bedeutung. Diese sogenannte Lichtfarbe wird technisch durch die ähnlichste Farbtemperatur in Kelvin ausgedrückt, oft findet man eine Einteilung der Leuchtmittel in Warmweiß, Neutralweiß und Tageslichtweiß. Warmweißes Licht erscheint etwas rötlich, während tageslichtweißes Licht durch die erhöhten Blauanteile im Spektrum oftmals als kalt empfunden wird. Warmweiße Lichtquellen werden daher bevorzugt in Bereichen eingesetzt, in welchen ein gemütliches Ambiente erzeugt werden soll. Neutralweißes Licht hingegen ist die Standardbeleuchtung für Arbeitsplätze.

Da das resultierende Licht im Raum nicht nur durch das Leuchtmittel, sondern auch durch die Reflexion an spektral selektiven Raumboflächen bestimmt wird, empfiehlt es sich, für große Oberflächen helle Farbtöne zu wählen.

Die Lichtfarbe sollte im Bereich von warmweiß bis neutralweiß (3300 bis 5300 K) liegen und auf das Raumfarbkonzept abgestimmt werden.

3.2.5. Biologisch wirksames Licht

Neueste Studien belegen, dass Licht noch wesentlich größeren Einfluss auf das menschliche Leben hat. Licht kann den circadianen Rhythmus (Tag-Nachtrhythmus) des Menschen unterstützen und biologische Vorgänge im Körper steuern.

Die biologische Wirkung von Tageslicht ist unumstritten, über die Wirkung von Kunstlicht wird diskutiert. Die Anwendung von Leuchtmitteln mit hohem Blauanteil ist aufgrund der unbekanntenen Langzeitwirkung umstritten.

3.2.6. Lichtsysteme und Leuchten

Bei der Auswahl der Lichtsysteme ist auf die werkzeuglose und einfache (durch eine Person durchführbare) Wartung sowie auf eine möglichst geringe Typenvielfalt an Leuchtmitteln zu achten; in Hinblick auf Erhaltung und Wartung sind Beleuchtungskörper aus Serienfertigung zu verwenden.

3.2.6.1. Funktion der Leuchten

Den Leuchten kommen unter anderen die folgenden Aufgaben zu:

- Lenkung des Lichtstromes (Lichtstärkeverteilungskurve, Direkt-/Indirekt-Anteil)
- Schutz gegen Blendung
- Aufnehmen der Versorgungs- und Vorschaltgeräte
- Schutz der Lampen gegen mechanische und andere Einwirkungen
- Schutz der Lampen und ihrer Umgebung vor Überhitzung
- Erfüllen der elektrischen Sicherheit
- Ästhetische Qualitäten

3.2.6.2. Leuchtmittel

Leuchtstofflampen gelangen aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen am häufigsten zum Einsatz. Lichttechnisch unterscheiden sie sich durch unterschiedliche Lichtströme, Lichtfarben und Farbwiedergabeeigenschaften. Ihr Betrieb mit elektronischen Vorschaltgeräten mit Amplitudenmodulation (EVG) vermeidet störendes Flimmern und verlängert ihre Lebensdauer.

Derzeit ist davon auszugehen, dass Leuchtdioden (LED) sukzessive die stabförmigen Leuchtstofflampen, die Kompaktleuchtstofflampen und die Halogenleuchtstofflampen (speziell in Downlights und Strahlern) ersetzen werden. LED Systeme sind energieeffizient und in hoher lichttechnischer Qualität von unterschiedlichen Herstellern verfügbar. LED Leuchten können die Veränderung der Farbtemperaturen über den Tagesverlauf mit einer entsprechenden Steuerung ermöglichen.

Besonderes Augenmerk ist beim Lampentausch auf den Ersatz des Leuchtmittels mit der entsprechenden Lichtfarbe und Leistung zu legen.

Beim einfachen Austausch der Lampen durch LED-Lichtquellen mit klassischem Sockel („Retrofit-Lampen“) ist allerdings Vorsicht geboten: Die andere Abstrahlcharakteristik der LED-Lampen in der Leuchte kann die gesamte Lichtverteilung im Raum verändern und entspricht eventuell nicht mehr den zugrundeliegenden Planungen. Eine Neuberechnung ist in diesem Fall vorzulegen. Bei einem Eingriff in die Leuchte (z. B. Entfernen eines VG) erlöschen alle Prüfzeichen des Herstellers und die ausführende Firma haftet für Folgeschäden.⁸

3.2.6.3. Flimmern und Pulsation

Fast alle mit Wechselstrom betriebenen Lichtquellen weisen eine periodische Modulation in Form von Flimmern auf.

Flimmern oder Pulsation darf nicht zu Unfallgefahren oder Ermüdung führen und ist zu vermeiden.

Beim Einsatz von dimmbaren Leuchten sollte hinsichtlich Flimmern ausschließlich die Amplitudenmodulation zur Anwendung kommen.

Auf weiterführende Fachliteratur im Anhang (4.2.) wird verwiesen.

3.2.6.4. Lichtschaltung / Lichtsteuerung / Verdunkelung

Die Entscheidung, ob Lichtsteuerungssysteme eingesetzt werden oder ob das künstliche Licht manuell geschaltet werden soll, ist projektbezogen zu treffen.

3.2.6.4.1. Schaltbarkeit

Unterrichtsräume und offene Lernzonen ohne Lichtsteuerung: separate Schaltung des Tafel- bzw. Projektionsbereiches.

Bei einer Ausstattung mit grünen oder schwarzen Tafeln ist eine separat schaltbare Zusatzbeleuchtung gemäß EN 12464-1 vorzusehen – siehe 3.2.7.9.

Bei einer Ausstattung mit interaktiven Tafelsystemen bzw. Bildschirmen und für Beamer-Projektionen, ist eine separates Ausschalten des Lichts in diesem Bereich erforderlich, um geeignete Sehbedingungen zu ermöglichen.

Vorzusehen sind daher mindestens 3 Schaltgruppen: Gruppe 1: Fensterbereich, Gruppe 2: Tafel bzw. Projektionsbereich, bei gerichteter Bestuhlung über der ersten Sitzreihe, Gruppe 3: restliche raumseitige Beleuchtung. Somit ist eine Verdunkelung durch stufenweises Abschalten der Leuchten möglich.

Für reine Verkehrsflächen sind projektspezifisch eigene Szenarien zu entwickeln (z.B. zeit- und/oder nutzerabhängig).

⁸ Siehe Empfehlung der Lichttechnischen Gesellschaft Österreichs http://innenbeleuchtung.itg.at/media/Downloads/2016/LED-Tubes_Umruestinfo_2016.pdf

3.2.6.4.2. Steuerung

Lichtsteuerungssysteme ermöglichen eine stufenlose Anpassung der Lichtverhältnisse an die jeweiligen Unterrichts- und Präsentationsbedürfnisse. So kann das ergänzende Kunstlicht auf das zur Verfügung stehende Tageslicht, auf die Präsenz im Raum oder auf unterschiedliche Verdunkelungsanforderungen der Vortragsmedien abgestimmt werden.

Die Einfachheit und Klarheit der Bedienung einer Lichtsteuerung steht im Vordergrund und ist mit dem Nutzer abzustimmen. Der Vorteil einer Lichtsteuerung liegt darin, dass auch Tageslichtsysteme mit eingebunden werden können. Durch das automatische Abschalten des ergänzenden Kunstlichtes bei einem ausreichenden Tageslichteintrag wird der Energieverbrauch reduziert.

Der jährliche spezifische Energiebedarf berücksichtigt auch die durch geeignetes Steuern, Regeln oder Abschalten eingesparte Energie.

Das bedeutet unter anderem:

- Eine neue Anlage mit geregelter Lichtstrom wird zwar mit dem Neuwert der Beleuchtungsstärke geplant, kann aber von Anfang an auf den Wertungswert heruntergeregelt werden.
- Helligkeitssteuerungen für einzelne Beleuchtungszonen ermöglichen einen größeren Spielraum bei der Unterrichtsgestaltung: Unterrichtssequenzen mit hohem, über dem Wertungswert liegenden Lichtbedarf können mit jenen geringeren Lichtbedarfs wechseln. Dazu muss die installierte spezifische Leistung in W/m^2 für den höchsten Lichtbedarf berechnet werden. Der jährliche spezifische Energiebedarf (in kWh/m^2) wird dadurch nicht notwendigerweise höher als bei einer konventionellen Anlage ohne Steuerung.

Mittels Lichtsteuerung / Lichtmanagement können definierte Grundstimmungen abgespeichert und per Tastendruck abgerufen werden. Der Wechsel zwischen einzelnen Lichtszenarien sollte bei dimmbaren Leuchten langsam erfolgen, um Belastungen für das Auge zu vermeiden.

Damit eine aktivierende Wirkung des Lichts, Blickkontakte und ein müheloses Mitschreiben möglich bleiben, soll ein Herabdimmern der Beleuchtung generell nur soweit erfolgen, wie für das jeweilige Unterrichts- bzw. Vortragsmedium notwendig. Zuerst wird dabei der Bereich der Bildwand und der vordere Raumbereich von der Abdunkelung erfasst. Bei großen Räumen empfiehlt sich eine halbautomatisierte Helligkeitssteuerung mit Dimm-Niveaus von 100% bis 1%. Damit der Unterricht/Vortrag wenig gestört wird sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Lampen dürfen nicht flackern (siehe auch 3.2.6.3.)
- Die Lichtänderungen sollen innerhalb von 3 bis 10 Sekunden kontinuierlich, ohne Sprünge erfolgen
- Wird während der Verdunkelung kurzzeitig Licht benötigt, soll es mit Rücksicht auf Anpassungsschwierigkeiten nicht sofort voll wirksam werden
- Für Vortragsmedien sollen voreingestellte Verdunkelungsstimmungen mit einfachem Knopfdruck abrufbar sein
- Für andere Vortragsmedien oder für spezielle Vorführungen sollen auch manuelle Einstellmöglichkeiten vorhanden sein. Es empfiehlt sich, dafür unterschiedliche Zonen im Raum zu definieren.
- Das Bediengerät der Lichtsteuerung soll übersichtlich, gut erreichbar und auch von Gast-Vortragenden einfach zu bedienen sein und muss während der Bedienung den Blick in den Raum ermöglichen.
- Die Vortragende Person benötigt gegebenenfalls eine Zusatzbeleuchtung, um Notizen lesen zu können.

3.2.7. Wahl der Beleuchtungsart

3.2.7.1. Unterrichtsräume

In den Unterrichtsräumen ist oft eine frei wählbare Sitzanordnung erwünscht, was höhere Anforderungen an die Blendungsfreiheit von Leuchten stellt. Hier bewähren sich Leuchten mit hohem Indirektanteil oder großflächige Leuchten mit Abdeckungen (diffus, prismatisch oder lichtlenkend), welche auch eine angenehme Lichtstimmung bewirken.

Für Unterrichtsräume ist eine auf den gesamten Raum bezogene Beleuchtung vorzusehen. Diese wird durch spezielle, getrennt regulierbare Beleuchtungszonen (Tafel- und Projektionszone, Demonstrationszonen, Einzelplatzbeleuchtungen etc.) ergänzt. Neben der Unterrichtsform und der Raumnutzung bestimmen auch die Tageslichtverhältnisse Eigenschaften und Anordnung der Leuchten.

3.2.7.2. Bibliotheken

Gestelle in Büchersälen müssen auch in den bodennahen Bereichen gut beleuchtet werden. Maßgeblich ist die vertikale Beleuchtungsstärke. Bei mobilen Regalsystemen sind die Leuchten als durchgehende Lichtbänder rechtwinklig zu den Regalen anzuordnen.

Lesesäle benötigen eine Grundbeleuchtung mit hohem Indirektanteil. An jedem Leseplatz ist eine gut abgeschirmte Einzelplatzleuchte oder abgehängte Pendelleuchte vorzusehen. Sie soll nicht flimmern und keine starke Wärmeentwicklung aufweisen.

3.2.7.3. Werkräume, Laboratorien

In Werkräumen mit möglicher Staubeentwicklung, sind staubgeschützte Leuchten zu verwenden. Auch dem Brandschutz muss Beachtung geschenkt werden.

Dies erfolgt z.B. mit Leuchten der Schutzart IP50 und dem Kennzeichen ▽

Um Stroboskopeffekte bei drehenden Maschinenteilen (z.B. Räder, Sägeblätter) zu vermeiden, sind alle Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) zu betreiben. Die Eignung von gedimmten LED-Beleuchtungen mit Pulsweitenmodulation (PWM) bei drehenden Maschinenteilen ist im Einzelfall durch Testung zu überprüfen.

3.2.7.4. Sporthallen, Gymnastikräume

Beleuchtungsanlagen für Sporthallen und Gymnastikräume müssen folgende Bedingungen erfüllen:

- Gute Entblendung, auch bei Blick nach oben
- hohe Vertikalbeleuchtungsstärken,
- gute horizontale Gleichmäßigkeit, insbesondere in den Bereichen besonderen Spielgeschehens
- gute Ausleuchtung des oberen Hallenraumes, auch bei Deckenmontage
- ballwurfsichere Ausführung der Leuchten

Vorgaben für Trainings- und Wettkampfbedingungen unterschiedlicher Sportarten sind ÖNORM EN 12193 sowie den Sportarten spezifischen ÖISS Beleuchtungsguides zu entnehmen.

3.2.7.5. Gänge und Erschließungsbereiche

Für Gänge ist fallweise ein Beleuchtungssystem, das als optisches Führungssystem die Orientierung unterstützt (z.B. Betonung von Knotenpunkten, Kreuzungen und wichtigen Eingängen), sinnvoll.

3.2.7.6. Naturwissenschaftliche und Mehrzweckräume

Der Einsatz von dimmbaren Lichtlösungen wird vor allem für naturwissenschaftliche Unterrichtsräume und Mehrzweckräume empfohlen. Eine Dimmbarkeit bis 10% ist ausreichend. Darüber hinaus sollte es eine Möglichkeit zur Vollverdunkelung geben.

3.2.7.7. Erweiterte Nutzung anderer Räume

Eingangshallen, Sporthallen und Mensen werden oft zusätzlich für Versammlungen, Konferenzen, Theateraufführungen oder Schulfeste genutzt. Für solche Fälle sind Beleuchtungslösungen vorzusehen, welche den höheren Anforderungen dieser Nutzungen entsprechen und eine Grundbeleuchtung für den Normalbetrieb vorsehen; die Anforderungen sind projektspezifisch zu definieren.

3.2.7.8. Hörsäle

In Hörsälen kommt i.d.R. eine gerichtete Sitzanordnung zum Einsatz. Hier können die Sichtbedingungen zum Podium, zur Demonstrationszone, zur Wandtafel und zu den Projektionsflächen gezielt optimiert werden.

In Hörsälen mit ansteigenden Sitzreihen ist eine Queranordnung der Leuchten die wirtschaftlichste Lösung. Eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke wird dadurch erreicht, dass der Lichtstrom der installierten Leuchten der abnehmenden Lichtpunkthöhe angepasst wird oder die Anordnung der Leuchten variiert. In Hörsälen mit aufsteigendem Gestühl sind bei direkt- und tiefstrahlenden Leuchten die unterschiedlichen Blickrichtungen zu beachten und Blendungen – insbesondere der Hörer – auszuschließen.

Experimentier- und Vortragspulte für Hörsäle sind mit gesonderten, separat schalt- und regelbaren Beleuchtungen auszustatten ($E_m = 750 \text{ lx}$), die aus Sicht der Zuhörer gut entblendet ist.

3.2.7.9. Zusatzbeleuchtungen

Nach Bedarf sind Zusatzbeleuchtungen vorzusehen; ihre Lichtfarbe soll jener der raumbezogenen Beleuchtung entsprechen. Beispiele für Zusatzbeleuchtungen sind:

- Experimentiertisch: Schräg von oben strahlende Leuchten
- Tafelbeleuchtung: bei einer Ausstattung mit grünen oder schwarzen Tafeln ist eine separat schaltbare Zusatzbeleuchtung gemäß EN 12464-1 vorzusehen.
- Vortragspult: zum Lesen des Manuskripts und zur Beleuchtung der Vortragenden Person,
- Vitrinen, Regale
- Beleuchtung von Kleinbühnen oder Aktionsbereichen in kleineren Unterrichtsräumen. Hier können z.B. Strahler an Stromschienen, evtl. kombiniert mit Wandtafelbeleuchtung, verwendet werden.
- Zonenbeleuchtung in Hörsälen, getrennt regelbar z.B. für Podium, Raum, seitliche Wandtafel, mittlere Wandtafel. Der Vortragsbereich soll gleichmäßig und blendfrei ausgeleuchtet sein.

3.2.8. Not- und Sicherheitsbeleuchtung

Die Not- und Sicherheitsbeleuchtung ist den Arbeitnehmerschutzverordnungen bzw. den im jeweiligen Bundesland geltenden Bestimmungen sowie der ÖVE/ÖNORM E 8002⁹ und der ÖNORM EN 1838¹⁰ entsprechend anzulegen und zu dimensionieren.

⁹ ÖVE/ÖNORM E 8002 – Starkstromanlagen und Sicherheitsstromversorgung in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen

¹⁰ ÖNORM EN 1838 - Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung

3.2.9. Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz

Die Beleuchtungsplanung ist rechtzeitig in die Gesamtplanung eines Gebäudes zu integrieren. Zur Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtungsanlage tragen folgende Faktoren bei:

- die sinnvolle Ausnutzung von Tageslicht – siehe 2.2.
- eine hohe Lichtausbeute und eine lange Lebensdauer der Lampen
- der Einsatz elektronischer Vorschaltgeräte (EVG) für Leuchtstofflampen; diese vergrößern Effizienz und Lebensdauer
- die einfache Bedienbarkeit der Leuchten beim Lampenwechsel (z.B. Leuchtstofflampen) sowie deren Robustheit
- entsprechende Herstellergarantie bei LED (bis zu 5 Jahren sind am Markt möglich)
- ein hoher Leuchtenbetriebswirkungsgrad (LOR)
- ein hoher Raumwirkungsgrad (abhängig von den Reflexionsgraden im Raum und der Lichtverteilung, siehe auch 1.1)
- geeignete, auf das Tageslicht und den jeweiligen Lichtbedarf abgestimmte Schaltungs- und Regelungsmöglichkeiten der Leuchten, welche auch automatisch erfolgen können

Für die Berechnung der Energiekosten ist nicht nur die installierte spezifische Leistung [W/m^2] maßgeblich, sondern vor allem der jährliche spezifische Energiebedarf in kWh/m^2 . Die optimale Nutzung von Tageslicht, wie auch geeignetes Steuern, Regeln oder Abschalten des Kunstlichts sind wesentliche Faktoren zur Einsparung von Energie bei der elektrischen Beleuchtung.

Als Orientierungswerte können folgende spezifische Leistungswerte herangezogen werden (Stand der Technik zum Zeitpunkt der Erstellung der Richtlinie):

Bei Ausstattung mit LED:

- Unterrichtsräume: $4\text{-}6 \text{ W}/\text{m}^2$ für 300lx Beleuchtungsstärke
- Naturwissenschaftliche Räume: $10\text{-}12 \text{ W}/\text{m}^2$ für 500lx Beleuchtungsstärke
- Erschließungsflächen: $< 2 \text{ W}/\text{m}^2$ für 100lx Beleuchtungsstärke

Bei Ausstattung mit Leuchtstofflampen:

- Unterrichtsräume $9 \text{ W}/\text{m}^2$ für 300lx Beleuchtungsstärke
- Naturwissenschaftliche Räume $15 \text{ W}/\text{m}^2$ für 500lx Beleuchtungsstärke
- Erschließungsflächen $4\text{-}6 \text{ W}/\text{m}^2$ für 100lx Beleuchtungsstärke

Neben den Energiekosten fallen Instandhaltungskosten (Lampenersatz, Reinigung etc.) und Investitionskosten an. Oft stellt sich in einer Berechnung der 10-Jahres-Kosten (inkl. Anlagenamortisation) eine, in der Anschaffung teure Lösung als die wirtschaftlichere Variante heraus. Beim Austausch alter Anlagen gegen neue effiziente Lösungen sind mit den steigenden Energiekosten Amortisationszeiten von drei bis fünf Jahren durchaus realistisch.

4. Anhang

4.1. Normen und Regelwerke

Auf folgende Normen und Regelwerke wird insbesondere verwiesen (in der jeweils gültigen Fassung):

Anforderungen an die Belichtung und Beleuchtung sowie Energieeffizienz und Kindersicherheit:

- OIB Richtlinie 3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, Kapitel 9. Belichtung und Beleuchtung
- ÖNORM B 2608 Sporthallen – Richtlinien für die Planung und Ausführung
- ÖNORM H 5059 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsenergiebedarf (Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 15193)
- ÖNORM EN 12665 Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung
- Entwurf ÖNORM EN 15193-1 Energetische Bewertung von Gebäuden - Modul M9 - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung,
- ÖNORM EN 15251 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- ÖNORM B 8110-3 Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
- ÖNORM EN 16120 – Abschlüsse innen – Abschlüsse innen - Leistungs- und Sicherheitsanforderungen

Natürliche Belichtung:

- Vornorm ÖNORM EN 17037 Tageslicht in Gebäuden
- ÖNORM EN 14501 Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Leistungsanforderungen und Klassifizierung

Künstliche Beleuchtung:

- ÖNORM EN 12464-1 Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
- EN 15193 Energetische Bewertung von Gebäuden - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung

4.2. Weiterführende Fachliteratur

- VBG Fachinformation BGI 856 Beleuchtung im Büro
- Kommission Arbeitsschutz und Normung (DE), 2015: „KANN-Positionspapier zum Thema künstliche, biologisch wirksame Beleuchtung in der Normung“
- Geschäftsstelle der Kommission Umweltmedizin, Bundesgesundheitsbl. 2015 „Empfehlung der Kommission Umweltmedizin am Robert Koch-Institut zu Moderne Lichtquellen“
- DIN SPEC 67600 – Biologisch wirksame Beleuchtung - Planungsempfehlungen
- DIN SPEC 5031-100 - Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren
- IEEE 1789-2015, IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers
- CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurements Models
- NEMA Standards Publication 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria
- Human Centric Lighting – Kurzversion (licht.de)
- Schriftenreihe der LiTG Licht Wissen (licht.de) 02 Besser Lernen mit gutem Licht
- Schriftenreihe der LiTG Licht Wissen (licht.de) 19 Wirkung des Lichts auf den Menschen
- Schriftenreihe der LiTG Licht Wissen (licht.de) 08 Sport und Freizeit

4.3. Definitionen

4.3.1. Sehen

Adaption, Adaptation

Vorgang der Anpassung des Sehorgans an vorherige und gegenwärtige Lichtreize unterschiedlicher Leuchtdichte, spektraler Strahlungsverteilung und Winkelausdehnung

Akkommodation

Anpassung der Brennweite der Augenlinse, durch die ein in einer bestimmten Entfernung befindliches Objekt auf der Netzhaut scharf abgebildet wird

Sehschärfe

Fähigkeit, unter kleinen Seh winkeln dicht nebeneinander liegende Punkte oder Linien getrennt wahrnehmen zu können

Helligkeit

Merkmal einer Gesichtsempfindung, aufgrund deren ein Teil des Gesichtsfeldes mehr oder weniger Licht auszusenden oder zu reflektieren scheint. Helligkeit ist die subjektive Entsprechung zur Leuchtdichte.

Kontrast

Bewertung des Unterschieds zweier unmittelbar aneinandergrenzender oder zeitlich aufeinander folgender Gesichtseindrücke (Leuchtdichtekontrast, Helligkeitskontrast, Farbkontrast, Simultankontrast, Sukzessivkontrast usw.)

Helligkeitskontrast

Subjektive Bewertung des Helligkeitsunterschiedes zwischen zwei oder mehreren Flächen, die gleichzeitig oder aufeinanderfolgend gesehen werden

Farbkontrast

Subjektive Bewertung des Farbunterschieds zwischen zwei oder mehreren Flächen, die gleichzeitig oder aufeinanderfolgend gesehen werden

Blendung

Sehzustand, der als unangenehm empfunden wird oder eine Herabsetzung der Sehfunktion zur Folge hat, verursacht durch eine ungünstige Leuchtdichteverteilung oder durch zu hohe Kontraste

Flimmern

Eindruck der Unstetigkeit visueller Empfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichte oder der spektralen Verteilung

Gesichtsfeld

Raumzone, in welcher Gegenstände für das Auge in einer bestimmten Position und Blickrichtung sichtbar sind
Anmerkung: In der waagrechten Meridianebene erstreckt sich das Gesichtsfeld mit beiden geöffneten Augen auf fast 190°, während der beidäugig sichtbare Bereich bei ungefähr 154° und der mit einem Auge sichtbare Bereich bei ungefähr 120° liegt.

Sehleistung

Leistung des visuellen Systems, wie sie beispielsweise durch die Geschwindigkeit und die Genauigkeit gemessen wird, mit welcher die Sehaufgabe gelöst wird

Sehkomfort

Subjektives Wohlbefinden, bewirkt durch die Lichtumgebung

4.3.2. Belichtung und Beleuchtung

Farbwiedergabe

Auswirkung einer Lichtart auf den Farbeindruck von Objekten, die mit ihr beleuchtet werden, im bewussten oder unbewussten Vergleich zum Farbeindruck der gleichen Objekte unter einer Bezugslichtart

Allgemeiner Farbwiedergabe-Index (einer Lichtquelle)

Wert, mit dem anzugeben ist, inwieweit die Farbe der von einer Lichtquelle beleuchteten Objekte derjenigen entspricht, die sie unter einer Bezugslichtquelle haben.

Farbtemperatur

Temperatur des Planck'schen Strahlers, bei der dieser eine Strahlung der gleichen Farbart hat wie der zu kennzeichnende Farbreiz

Beleuchtungsstärke

Ein Maß für die Lichtstrahlung, die auf eine Fläche fällt, und diese beleuchtet. Je größer die Lichtstrahlungsmenge pro Flächeneinheit ist, umso größer ist die Beleuchtungsstärke. Die Maßeinheit ist Lux (lx). Die Beleuchtungsstärke ist die wichtigste lichttechnische Größe, da sich alle gesetzlichen Vorschriften über die Beleuchtung von Arbeitsplätzen auf die Beleuchtungsstärke beziehen. Mathematisch: Quotient des Lichtstroms, der auf ein Flächenelement auftritt und der Fläche dieses Flächenelements

Lichtstrom

Der Lichtstrom ist ein Maß für die gesamte von der Lichtquelle ausgesandte Lichtstrahlung (Lichtleistung). Die Maßeinheit ist das Lumen (lm).

Lichtausbeute einer Leuchte oder Lampe

Die Lichtausbeute ist der Lichtstrom einer Lichtquelle bezogen auf ihre elektrische Leistungsaufnahme. Sie wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben.

Lichtstärke

Die Lichtstärke ist ein Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) gemessen.

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist ein Maß für den Helligkeitseindruck, den eine leuchtende oder beleuchtete Fläche hervorruft. Die Maßeinheit ist cd/m^2 . Nur die Leuchtdichte ist ein Maß für die vom Menschen empfundene Helligkeit. Sie ist deshalb für die Thematik Blendung und Blendschutz eine wichtige Größe.

Leuchtdichteunterschiede

Die Leuchtdichte (cd/m^2) ist die lichttechnische Grundgröße, die vom menschlichen Auge wahrgenommen wird. Die Verteilung der Leuchtdichten auf verschiedenen Flächen in einem beleuchteten Raum ist ein wichtiges Kriterium für die visuelle Qualität. Eine ausgewogene, harmonische Helligkeitsverteilung (= Leuchtdichteunterschied) ermöglicht störungsfreies Sehen.

Tageslicht-Quotient D

Der Tageslicht-Quotient ist das Verhältnis der Außenbeleuchtungsstärke zur Innenbeleuchtungsstärke in %, bei bedecktem Himmel.

Leuchtenbetriebswirkungsgrad (LOR)

Verhältnis des Gesamtlichtstroms einer Leuchte, gemessen unter festgelegten Betriebsbedingungen mit ihren eigenen Lichtquellen und Betriebsmitteln, zur Summe der individuellen Lichtströme derselben Lichtquellen, die außerhalb der Leuchte mit denselben Betriebsmitteln unter festgelegten Bedingungen, betrieben werden. Anmerkung: für LED Leuchten mit nicht austauschbaren LED Lichtquellen kann nur der Gesamtlichtstrom einer Leuchte gemessen werden, wodurch der LOR 100% und nicht von Bedeutung ist.

Gleichmäßigkeit

Verhältnis der minimalen Beleuchtungsstärke zur mittleren Beleuchtungsstärke

Wartungswert

Der Wartungswert beschreibt den Mittelwert der Beleuchtungsstärke, der nicht unterschritten werden darf. Bei Projektierung einer Beleuchtungsanlage muss berücksichtigt werden, dass Leuchten, Lampen und Räume im Laufe der Zeit altern und verschmutzen. In der Folge nimmt die Beleuchtungsstärke ab. Um diesen Verlust zu kompensieren, muss jede Neuanlage mit höheren Beleuchtungsstärken ausgerüstet sein (= Neuwert). Berechnung des Neuwertes der Beleuchtungsanlage: $\text{Neuwert} = \text{Wartungswert} / \text{Wartungsfaktor}$.

4.3.3. Transparente Bauteile und Verschattung

Reflexionsgrad ρ

Der Reflexionsgrad ρ ist das Verhältnis von zurückgeworfener zu auftreffender Strahlung und ist die Summe aus diffusem Reflexionsgrad ρ_d und gerichtetem Reflexionsgrad ρ_r (spiegelnde Reflexion)

Transmissionsgrad τ

Der Transmissionsgrad ist das Verhältnis von durchgelassener zu auftreffender Strahlung und ist die Summe aus gerichtetem Transmissionsgrad τ_r und diffusem Transmissionsgrad τ_d

Absorptionsgrad α

Der Absorptionsgrad ist das Verhältnis von absorbiertener Strahlung zu auftreffender Strahlung

g-Wert

Der Gesamtenergiedurchlassgrad für solare Strahlung durch transparente Bauteile gibt an, wie viel der außen auftreffenden Sonnenenergie ins Rauminnere gelangt. Der g-Wert wird in Werten zwischen 0 und 1 oder zwischen 0 und 100 % angegeben. Je niedriger der Wert, desto weniger Energie durchdringt den Bauteil.

g_{tot} Wert

Der Gesamtenergiedurchlassgrad für solare Strahlung durch transparente Bauteile mit einer vor, zwischen oder hinter der Verglasung angebrachten Beschattung. Er gibt an, wie viel der außen auftreffenden Sonnenenergie letztendlich ins Rauminnere gelangt.

F_C -Wert (EN 14501)

Beschreibt das Verhältnis zwischen dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung (g) und jenem in Kombination mit der Sonnenschutzeinrichtung (g_{tot}). $F_C = \frac{g_{tot}}{g}$

Der F_C -Wert wird in Werten zwischen 0 und 1 oder zwischen 0 und 100 % angegeben. Je niedriger der Wert, desto effektiver ist die Beschattung.

Lichttransmissionsgrad T_v (LT)

Der Lichttransmissionsgrad gibt an, welcher Anteil der sichtbaren Strahlung senkrecht durch das Glas bzw. Glas mit Beschattung hindurchtritt. Der T_v -Wert ist umso höher ist, je mehr Licht von außen nach innen dringt.