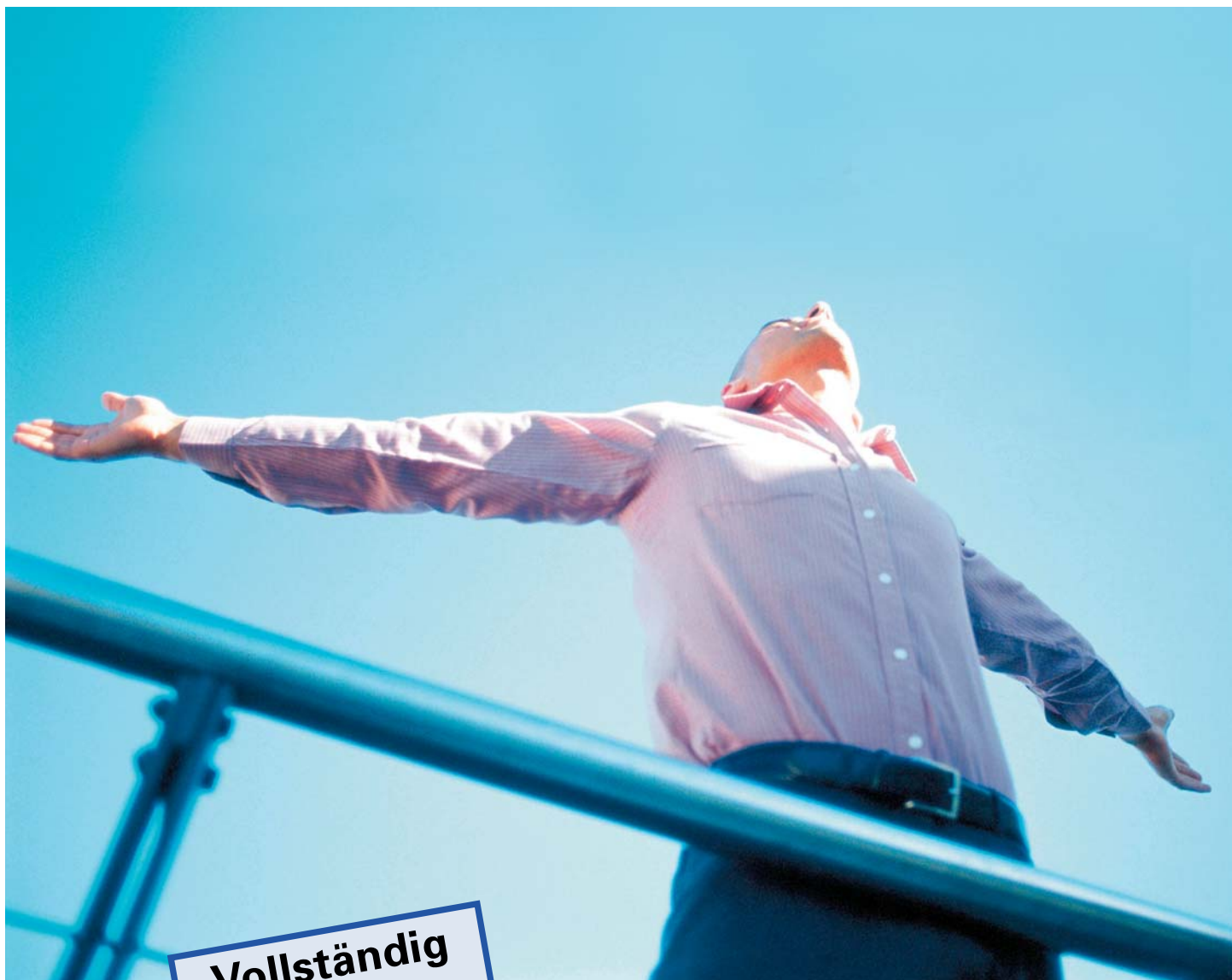


Grundlagen der Tageslichttechnik



**Vollständig
überarbeitete
Neuaufgabe**

Inhalt

Vorwort

Strahlung und Licht

Was ist Tageslicht?

Tageslicht und Gesundheit

Tageslicht am Arbeitsplatz

Qualität der Tageslichtbeleuchtung

FVLR

Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e. V.



Vorrang für natürliches Licht

■ Licht hat – vom Standpunkt der lebenden Materie aus betrachtet – viele Eigenschaften: Zum einen liefern die Lichtquanten die Energie für die unterschiedlichsten biologischen Prozesse, angefangen von der Photosynthese bis zur Bildung des „Sonnenhormons“ Vitamin D. Zum anderen sind die Strahlen aus verschiedenen Bereichen

des elektromagnetischen Wellenspektrums aber auch die Basis optischer Informationsverarbeitung und damit die Grundlage von Bewusstsein. Als Informationsträger ist Tageslicht für uns Menschen zudem der Indikator für Tages- und Jahreszeiten und damit unser wichtigster chronobiologischer Synchronisator und „Taktgeber“ für alle Körperfunktionen. Doch nur wenn das elektromagnetische Signal und die Energie der Strahlung bezüglich Dosis, Wellenform und Frequenz innerhalb bestimmter Grenzen liegen, ist mit einer positiven physiologischen Wirkung zu rechnen. Jenseits dieser Grenzen beobachtet man bestenfalls keine Wirkung, schlimmstenfalls kommt es zu schweren körperlichen Schäden. Es liegt in der Verantwortung der Architekten, Lichtplaner und Bauherren, dass diese physiologisch relevanten Wirkfenster des elektromagnetischen Spektrums schon bei der Lichtplanung durch ausreichenden Tageslichteintrag in die Räume berücksichtigt werden. Denn andernfalls steht die Gesundheit der Nutzer auf dem Spiel.

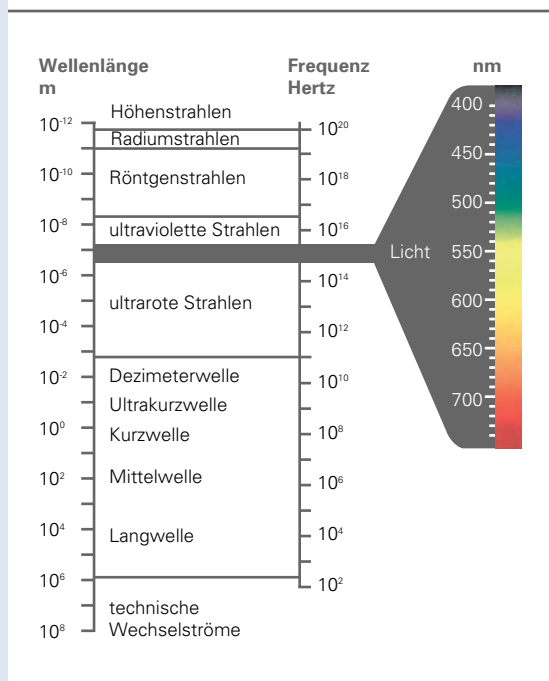
Es ist daher im Interesse der Beschäftigten als auch der Unternehmer zu begrüßen, dass zumindest bei der Beleuchtung von Arbeitsstätten ein Umdenken eingesetzt hat. So gibt die neue Arbeitsstättenverordnung dem Tageslicht grundsätzlich Vorrang bei der Arbeitsstätten- bzw. Arbeitsplatzbeleuchtung. Die Berufsgenossenschaftliche Regel 131 „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“ und die Berufsgenossenschaftliche Information 7007 „Tageslicht am Arbeitsplatz“ konkretisieren bzw. ergänzen die Verordnung mit Ausführungsbeispielen und Anwendungsbeschreibungen. Der FVLR hat dankenswerterweise die Aufgabe übernommen, in dieser Publikation die der BGR 131 und der BGI 7007 zu Grunde liegenden Zusammenhänge zwischen Tageslicht, der Sehaufgabe sowie seinen physiologischen und psychologischen Wirkungen zu beschreiben. Nur wer diese Zusammenhänge kennt, wird die Bedeutung von Tageslicht für die Gesundheit und Leistungsbereitschaft der Beschäftigten richtig einschätzen und die wirkungsvollsten Maßnahmen treffen können, um es optimal zur Beleuchtung einzusetzen.

Alexander Wunsch
Arzt und Lichttherapeut
Präsident der International Light Association

Strahlung und Licht

■ Strahlung ist ein physikalisches Phänomen. Elektromagnetische Strahlung entsteht beispielsweise, wenn Atome, Moleküle oder Atomkerne von einem höheren in einen niedrigeren Energiezustand fallen oder wenn elektrische Ladungsträger sich beschleunigt bewegen. Die dabei ausgesendeten elektromagnetischen Wellen werden nach der Wellenlänge (f) bzw. Frequenz (λ) unterschieden. Das elektromagnetische Strahlungsspektrum reicht von kurzwelligen Gammastrahlen bis zu Radiowellen mit mehreren Kilometern Wellenlänge und umfasst damit einen Wellenlängenbereich von 10^{-15} bis 10^5 m.

Als optische Strahlung wird der Teil des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet, der sich vom ultravioletten über den sichtbaren bis zum infraroten Spektralbereich zwischen $0,2 \cdot 10^{-6}$ und $3,0 \cdot 10^{-6}$ m erstreckt.

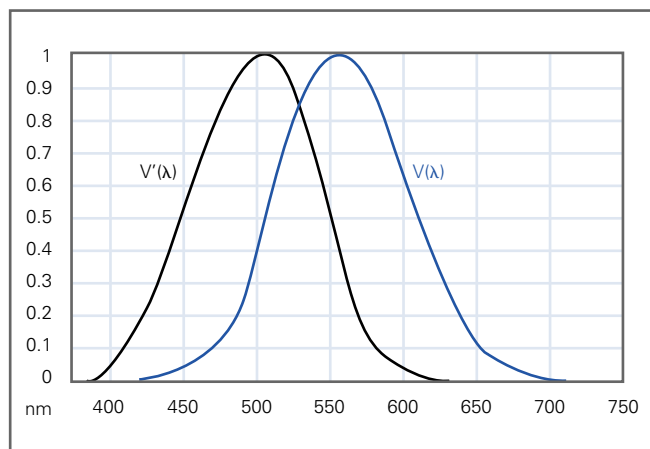


Das Licht nimmt im Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums nur einen sehr schmalen Bereich ein.

Der nicht sichtbare Bereich der optischen Strahlung ruft zwar keine Sehempfindung hervor, wirkt sich jedoch ebenfalls physiologisch auf den Menschen aus. Die langwellige Infrarotstrahlung wird als Wärme empfunden, während die kurzwellige Ultraviolettstrahlung beispielsweise zur Bräunung in Solarien oder in der Medizin eingesetzt wird.

Das sichtbare Licht

Für das menschliche Auge wahrnehmbar ist nur der kleine Bereich optischer Strahlung von 380 nm bis 780 nm (nm: Nanometer; $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), der als Licht bezeichnet wird. Wie Licht von unterschiedlicher Wellenlänge wahrgenommen wird, lässt sich durch die relative spektrale Empfindlichkeitsfunktion des menschlichen Auges für das Tagessehen $V(\lambda)$ und für das nächtliche Sehen $V'(\lambda)$ beschreiben.

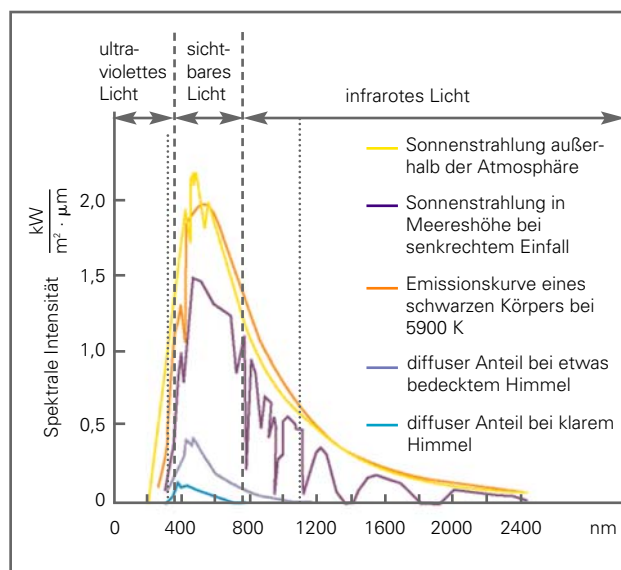


Relative spektrale Hellempfindlichkeitsgrade des menschlichen Auges für das Tagessehen (photopisches Sehen) $V(\lambda)$ und das nächtliche Sehen (skotopisches Sehen) $V'(\lambda)$.

Aus der Funktion $V(\lambda)$ für das Tagessehen ist ersichtlich, dass das helladaptierte Auge für Licht im grün-gelben Bereich am empfindlichsten, für blaues und rotes Licht dagegen relativ unempfindlich ist. Die $V'(\lambda)$ -Funktion für das Nachtsehen ist gegenüber der $V(\lambda)$ -Funktion um rund 50 nm in den kurzwelligeren Bereich verschoben. Das dunkeladaptierte Auge ist daher für blaues und grünes Licht empfindlicher als für gelbes und rotes Licht.

Direktstrahlung und Diffusstrahlung

Gäbe es keine Erdatmosphäre, würde die Sonnenstrahlung über die gesamte Erdoberfläche gemittelt eine Bestrahlungsstärke von 342 W/m^2 am Erdboden erreichen. Wolken, Luftmoleküle und der Boden reflektieren jedoch rund 34 % der Sonnenstrahlung gleich wieder in den Weltraum. Ein weiterer Teil der Strahlung wird entweder an den Luftmolekülen und Aerosolteilchen ohne Energieverlust gestreut (Diffusstrahlung) oder von bestimmten Gasen absorbiert und unter Energieverlust als langwelligere Strahlung emittiert. Nur ein kleiner Strahlungsanteil erreicht ungestört als Direktstrahlung die Erdoberfläche.



Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre unterliegt die Sonnenstrahlung verschiedenen Streu- und Absorptionsprozessen, die das Strahlungsspektrum und die Intensität beeinflussen.

Direktstrahlung und Diffusstrahlung werden zusammen als Globalstrahlung bezeichnet. Ihre Intensität hängt außer vom Sonnenstand, den klimatischen Verhältnissen und der lokalen Luftzusammensetzung auch von der geografischen Breite ab. In Mitteleuropa erreicht die Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel im Sommer etwa 1000 W/m^2 . Bei trübem, wolkeigem Wetter besteht sie nur aus dem Diffusanteil und sinkt auf Werte unter 100 W/m^2 . In Deutschland wird im Jahresmittel eine Bestrahlungsstärke zwischen 100 bis 135 W/m^2 registriert.



Was ist Tageslicht?

Tageslicht ist der sichtbare Teil der Strahlung der Sonne. Ebenso wie zwischen direkter und diffuser Strahlung gibt es auch Unterschiede zwischen dem direkt einfallenden Sonnenlicht und dem gestreuten Himmelslicht. Für Planungszwecke sollte der Begriff „Tageslicht“ daher wenn möglich durch die Begriffe „Sonnenlicht“ und „Himmelslicht“ präzisiert werden. Der strahlungsphysikalischen Größe Bestrahlungsstärke entspricht in der Lichttechnik die nach der Empfindlichkeitsfunktion $V(\lambda)$ bewertete Beleuchtungsstärke E . Sie wird in der Einheit Lux (lx) gemessen.

Unterschieden wird zwischen der Innenbeleuchtungsstärke E_i und der Außenbeleuchtungsstärke E_a . Beispielsweise beträgt in unseren Breitengraden die im Freien herrschende Außenbeleuchtungsstärke E_a an einem wolkenlosen Sommertag (Juli) bei unverbautem Außenraum rund 100.000 lx, an einem trübem Winternachmittag (Dezember) rund 3.000 lx.

Für den Tageslichttechniker beginnt und endet der Tag, wenn die Außenbeleuchtungsstärke mindestens 5.000 lx beträgt, alles darunter ist Dämmerung. 5.000 lx entsprechen etwa der Außenbeleuchtungsstärke in Höhe Kassel bei gleichmäßig bedecktem Himmel am 10. Dezember gegen 10 Uhr.

Die Außenbeleuchtungsstärke oder auch Horizontalbeleuchtungsstärke E_a bei freiem Horizont lässt sich mit folgenden Gleichungen nach DIN 5034 Teil 2 berechnen:

Bedeckter Himmel:

$$E_a = (300 + 21.000 \sin \gamma_s) \cdot lx \cdot (\gamma_s : \text{Sonnenhöhe}).$$

Klarer Himmel:

Gesamte Horizontalbeleuchtungsstärke E_g durch Sonne (E_S) und Himmel (E_H): $E_g = E_S + E_H$.

Ausreichende Genauigkeit (gültig für mittlere Trübung $T = 4,9$):

$$E_S = [85.000 \cdot \sin^2 \gamma_s + 6.500 \sin^2 (2\gamma_s)] \cdot lx \cdot (\gamma_s : \text{Sonnenhöhe}).$$

$$E_H = 280 \cdot \arctan (\gamma_s / ^\circ : 18,9) \cdot lx \cdot (\gamma_s : \text{Sonnenhöhe}).$$

Tageslicht und Gesundheit



Der Mensch hat sich im Laufe seiner evolutionären Entwicklung körperlich, seelisch und geistig an das Tageslicht angepasst. So sind rund 80 Prozent aller Sinneseindrücke optischer Natur und werden über das Licht vermittelt. Ein Viertel des gesamten

menschlichen Energiehaushalts wird allein für den Sehprozess aufgewendet. Viele lebenswichtige Körperfunktionen laufen nur dann optimal ab, wenn über die Haut oder das Auge eine bestimmte Dosis an Tageslicht aufgenommen wurde.

Doch heutzutage hält sich ein Großteil der Bevölkerung auch tagsüber in geschlossenen Räumen auf – in Büro- und Fabrikationsräumen, in Schulen und Universitäten oder in Haushalten, in die nur gefiltertes Tageslicht fällt. Es treten teilweise völlig neue, mit Tageslichtmangel in Zusammenhang stehende Krankheitsbilder auf. Mediziner, Humanbiologen und Psychologen haben sich daher in den letzten Jahren zunehmend mit den Wirkungen von Licht auf den Organismus und die Psyche beschäftigt.

Physiologische und psychische Wirkungen des Tageslichts

Die natürliche Lichtstrahlung wirkt auf den Menschen über das Auge und über die Haut. Die Wirkung hängt von vier Faktoren ab:

- Intensität bzw. Stärke (z. B. Leuchtdichte bei sichtbarer Strahlung, Bestrahlungsstärke bei UV- oder IR-Strahlung) als momentane Werte
- Dauer (Dosis)
- Zeitpunkt der Einwirkung
- freies Auftreffen auf die Hautoberfläche

Das Sehen und damit verbundene physiologische oder psychische Wirkungen werden ausschließlich durch das Licht beeinflusst, das durch die Pupille ins Auge eintritt. Dieses Licht ist auch der Auslöser für die physiologischen Abläufe, die mit der Bildung des Hormons Melatonin und dem Wach-Schlaf-Rhythmus (circadianen Rhythmus) verbunden sind.

Eine Reihe von Wirkungen wird durch die Bestrahlung der Haut hervorgerufen, z. B. die von der UV-Strahlung ausgelöste Bildung des Anti-Rachitis-Vitamins D und die Rötung der Haut oder die thermische Behaglichkeit durch IR-Strahlung.

Für das Sehen (Erkennen) sind, abgesehen von plötzlichen Änderungen, nur die Momentanwerte der jeweils maßgeblichen Größen von Bedeutung. Die meisten anderen Wirkungen werden durch Ereignisse verursacht, die zeitlich zurückliegen – bei der Tagesrhythmik und Hautrötung um Stunden, bei der Jahresrhythmik um Monate, bei der Alterung eher um Jahre oder Jahrzehnte.

Natürliche Strahlung wirkt auch dann, wenn sie zu einem Zeitpunkt fehlt, an dem sie vom Körper benötigt wird. Beispielsweise bewirkt eine dunkle Umgebung während des Tages ebenso physiologische Veränderungen wie helles Licht in der Nacht.

Grundsätzlich kann jeder physiologisch bedeutsame, vom Tageslicht verursachte Vorgang auch mit psychischen Empfindungen verbunden sein (siehe Kasten „Medizinische Wirkungen von Tageslicht“). So wird z. B. eine Blendung, die den Sehvorgang stört, in der Regel als unangenehm empfunden. Eine helle Umgebung mit optischen Reizen versetzt das Auge in einen helladaptierten Zustand, der meistens ein Gefühl des Wohlbefindens, bei Schlafbedürfnis allerdings auch das Gegenteil auslöst. Mit den Methoden der Psychologie erfassbare Wirkungen der natürlichen

Strahlung sind u. a. Leistungsbereitschaft, Behaglichkeitsgefühl, thermische Behaglichkeit, Blendung, Aktivierung, Ermüdung, asthenopische Beschwerden (z. B. Kopfschmerzen, Augenbrennen, Augenjucken) und Winterdepression.

Medizinische Wirkungen von Tageslicht

Aus wissenschaftlichen Untersuchungen ist bekannt, dass das Tageslicht:

- die Zusammensetzung des Blutes positiv beeinflusst,
- die Melatoninproduktion (Schlafhormon) unterdrückt,
- die „Gute-Laune-Hormone“ wie Serotonin und Noradrenalin zum Zuge kommen lässt,
- positiv den Wasserhaushalt verändert,
- positiv septische Krankheiten beeinflusst,
- positiv Hals-Nasen-Ohren-Krankheiten beeinflusst,
- die Vitamin A- und D-Synthese ermöglicht,
- den Stoffwechsel reguliert,
- positiv die Aktivität der Nebennierenrinde beeinflusst,
- positiv Hautkrankheiten wie Akne oder Schuppenflechte beeinflusst,
- die Abwehrkräfte verbessert,
- das circadiane System (Schlaf-/Wachrhythmus) steuert,
- Unfallgefahren verringert und
- die Leistungsfähigkeit und Lernfähigkeit steigert.

Lichtmangel macht krank

Ein Mangel an Tageslicht im Alltag verursacht Störungen im Stoffwechsel, der Hormonregulation und verschiedener vegetativer Vorgänge. So ist schätzungsweise ein Viertel der Bevölkerung Mittel- und Nordeuropas von der infolge von Lichtmangel entstehenden Winterdepression, auch „Seasonal Affective Disorder“ (SAD) genannt, betroffen. SAD kann sehr erfolgreich und dabei einfach mit natürlichem Licht therapiert werden.

Künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten ist auch eine der wichtigsten Ursachen des so genannten „Sick Building Syndroms“ (SBS): Menschen, die unter ungünstigen Lichtverhältnissen arbeiten, fühlen sich schneller ermüdet, haben mehr Kopfschmerzen oder leiden häufiger unter Konzentrationsschwäche. Je weiter der Arbeitsplatz im Rauminnen und damit von Fenstern entfernt liegt, desto stärker fallen diese Beschwerden aus.



Wenn Menschen in den Dunkelstunden starker künstlicher Beleuchtung ausgesetzt sind, wird die Produktion des Hormons Melatonin behindert, das den Wach-Schlaf-Rhythmus des Menschen steuert. Dieser Effekt wiederum erhöht die Östrogenproduktion bei Frauen und kann damit das Brustkrebsrisiko steigern.

Besser lernen und arbeiten bei Tageslicht

Kinder mit Aufmerksamkeitsstörungen (Attention Deficit Disorder ADD) leisten bei guter Versorgung mit Tageslicht mehr als unter Licht von Leuchtstoff-Lampen. Dies belegt eine Studie, die durch Messung des Kortisolspiegels (ein Stresshormon) das Verhalten von Schulkindern in tageslichtversorgten Klassenräumen in Schweden beobachtet hat. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass der Aufenthalt in Klassenräumen ohne Tageslicht das normale Hormonmuster umwirft, wodurch die Fähigkeit der Schüler zu Konzentration und Kooperation beeinflusst wird. Dies hat sogar Auswirkungen auf das jährliche Körperwachstum und die krankheitsbedingten Fehltag.

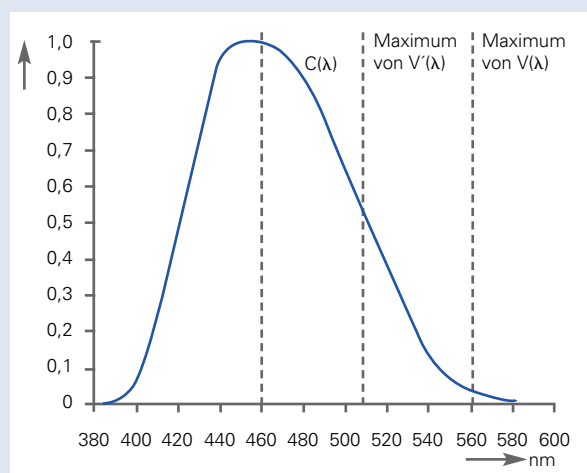


Nach amerikanischen Studien verbessert ausreichendes Tageslicht erheblich die Lernleistung von Kindern in der schulischen Ausbildung. Schüler mit dem meisten Tageslicht in ihren Klassenräumen kamen in einem Jahr 20 % schneller bei den Mathematikprüfungen und 26 % schneller bei den Leseprüfungen voran als diejenigen mit dem wenigsten Tageslicht. Schüler, die ein gut geplantes Oberlicht in ihrem Klassenraum hatten, verbesserten sich bis zu 20 % schneller als Schüler ohne Oberlicht. Dies bedeu-

tet, dass Schüler in ausreichend tageslichtversorgten Räumen bis zu einen Monat Ausbildungszeit im Lesen und in der Mathematik pro Jahr sparen könnten. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in den USA in das „Best Practices Manual“ der Initiative „Collaborative for High Performance Schools“ (CHPS) eingearbeitet, das der Planung und Ausführung aller Gewerke von neuen Schulgebäuden zu Grunde liegen soll. Auch Studien aus dem Arbeitsleben zeigen, dass sich an besser beleuchteten Arbeitsplätzen weniger Ermüdung einstellt und die Fehlerquote rapide sinkt, während die Arbeitsleistung steigt.

Das circadiane System

Winterdepression und Müdigkeit am Tag werden durch die Bildung von Melatonin im menschlichen Körper beeinflusst. Die Steuerung der Melatoninproduktion erfolgt durch bestimmte Rezeptoren (circadiane Sensoren), die sich wie die für das Sehen notwendigen Zapfen und Stäbchen ebenfalls in der menschlichen Netzhaut befinden. Die relative spektrale Empfindlichkeit der Rezeptoren liegt zwischen 380 und 580 nm. Das Maximum der Wirkfunktion $C(\lambda)$ dieser Rezeptoren liegt – anders als das Maximum der $V(\lambda)$ -Kurve (relative spektrale Hellempfindlichkeitsgrade des menschlichen Auges für das Tagessehen) bei etwa 460 nm (vergleiche Seite 3).



Untersuchungen haben gezeigt, dass die circadianen Sensoren erst bei Beleuchtungsstärken ab etwa 2.000 lx reagieren – also oberhalb des derzeit üblichen Kunstlichtbeleuchtungsniveaus, aber innerhalb des Niveaus einer Beleuchtung mit Tageslicht. Zudem ist die relative spektrale Strahlungsverteilung von Tageslicht günstiger als die der meisten künstlich erzeugten Lichtarten.

Tageslicht am Arbeitsplatz

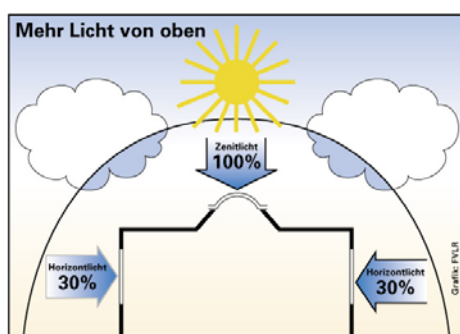
■ Der Mensch besitzt eine hoch ausgeprägte Fähigkeit, über sein optisches Sinnesorgan Formen, Farben und zeitliche Abläufe zu erkennen. Der Sehfunktion kommt daher bei fast allen Tätigkeiten des Menschen eine besondere Bedeutung zu. Physiologische Untersuchungen ergaben, dass der Sehvorgang 25 % unseres Energiehaushalts verzehrt, während gleichzeitig etwa 80 % unserer Nerven durch optische Reize beansprucht werden. Was im Folgenden zum Sehen mit Tageslicht am Arbeitsplatz gesagt wird, gilt sinngemäß auch für die Tageslichtbeleuchtung in privater Umgebung.

Bei einer Handlung führt der Sehapparat zwei unterschiedliche Funktionen aus:

- bewusstes Sehen und Erkennen des Arbeitsguts und der Arbeitsaufgabe sowie
- bewusste und unbewusste Wahrnehmung des Arbeitsraums und der Arbeitsumgebung.

Bewusstes Sehen des Arbeitsguts

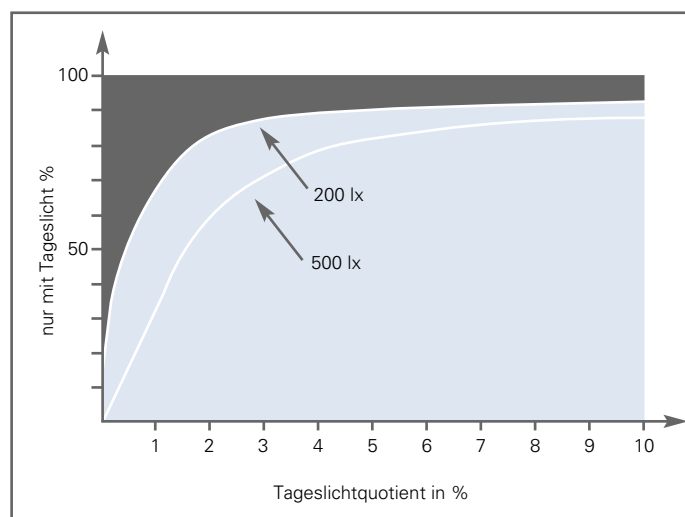
Im Falle des bewussten Sehens gelten für die Beleuchtung mit Tageslicht die gleichen Anforderungen wie für die künstliche Beleuchtung. Daher können die für künstliche Beleuchtung formulierten Gütemerkmale auch in der Tageslichttechnik sinngemäß angewendet werden. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die in der Literatur und auch in den Normen festgelegten Werte für diese Merkmale (z. B. für das Beleuchtungsniveau oder die Vermeidung von Spiegelungen) meist entsprechend den Eigenschaften künstlicher Lichtquellen bemessen wurden. Die natürlichen Lichtquellen zur Versorgung von Arbeitsstätten mit Tageslicht unterscheiden sich davon aber erheblich. Im Folgenden werden deshalb anhand der Gütemerkmale künstlicher



licher Beleuchtung die Unterschiede zwischen dem Sehen unter Tageslicht und dem unter künstlicher Beleuchtung erläutert.

Beleuchtungsstärke

Mit Tageslicht lassen sich verhältnismäßig hohe Beleuchtungsstärken in Innenräumen erreichen, ohne die Benutzer zu blenden. Aufgrund der wechselnden äußeren Bedingungen variiert jedoch die Beleuchtungsstärke des Tageslichts am Arbeitsplatz. Um dennoch mit einem konstanten Wert planen zu können, wird zunehmend angegeben, welcher Anteil der Arbeitszeit sich ohne zusätzliche künstliche Beleuchtung nutzen lässt. Dies kann beispielsweise in Abhängigkeit von der tageszeitlichen Lage der Arbeitszeit und der für eine bestimmte Tätigkeit erforderlichen Beleuchtungsstärke erfolgen.



Jährliche mögliche Arbeitszeit bei Beleuchtung ausschließlich mit Tageslicht in Abhängigkeit vom Tageslichtquotienten für zwei Tätigkeiten, bei denen auf einer fiktiven Arbeitsflächenhöhe von 0,85 m über dem Fußboden gemessen eine Mindestbeleuchtungsstärke (horizontal) von 200 lx bzw. 500 lx eingehalten werden muss.

Leuchtdichteverteilung

Die Leuchtdichteverteilung hängt insbesondere von der Art der Tageslichtöffnungen ab, die seitlich (Fenster) oder im Deckenbereich (Dachoberlichter) angeordnet sein können. In beiden Fällen unterscheidet sich die Tageslichtbeleuchtung durch die Großflächigkeit der Lichtquellen von einer künstlichen Beleuchtung. Da sich die an einem bestimmten Punkt erreichte Beleuchtungsstärke aus dem Produkt der Fläche der Lichtquelle und deren Leuchtdichte errechnet, ist die erforderliche Leuchtdichte großflächiger Quellen für eine bestimmte Ausleuchtung viel geringer als bei Quellen geringer Ausdehnung. Aus diesem Grund fehlen bei



Tageslichtbeleuchtung hohe Spitzenleuchtdichten, die bei üblichen Lampen zwischen 8.000 cd/m^2 (ältere Leuchtstofflampen) und 40.000 cd/m^2 (moderne T5-Lampen) liegen können. Die Leuchtdichteverteilung ist bei diffusem Tageslicht u. a. wegen der größeren Leuchtfläche harmonisch. Bei direktem Sonnenlicht sind wegen der extremen Spitzenleuchtdichten Sonnenschutzmaßnahmen vorzusehen.

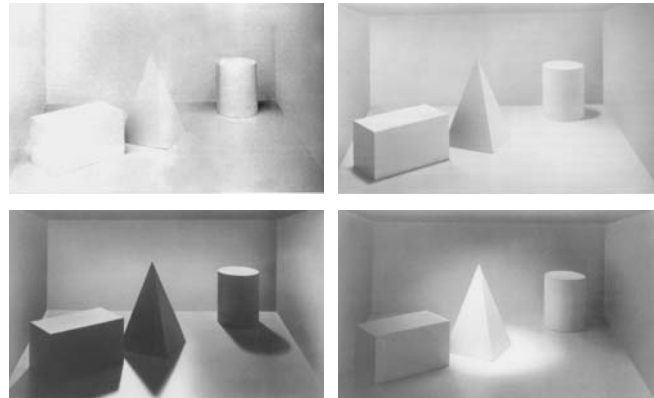
Blendung

Es wird zwischen psychologischer und die physiologischer Blendung unterschieden: Die psychologische Blendung entsteht durch direkte Einwirkung der Lichtquellen auf das Auge bzw. durch Reflexe auf anderen Objekten (Reflexblendung). Hinsichtlich Reflexblendung und Schleierreflexion können bei der Tageslichtbeleuchtung in der Regel bessere Bedingungen realisiert werden, weil großflächige Lichtquellen wie Fenster oder Dachoberlichter wegen ihrer niedrigeren Leuchtdichte sehr viel weniger Reflexblendung erzeugen als kleinflächige Lampen.

Die physiologische Blendung für künstliche Lichtquellen wurde in so genannten Blendungsbewertungsverfahren (z. B. Söllner-Verfahren oder UGR-Verfahren) bemessen. Zur Bewertung der Tageslichtblendung wird international der DGR-Index (daylight glare rate) angewendet. In der Regel tolerieren Menschen bei der Tageslichtbeleuchtung noch Lichtverhältnisse, die bei künstlicher Beleuchtung als inakzeptabel gelten. Dies hängt damit zusammen, dass die Quellen der Blendung (Fenster und Oberlichter) zugleich bewusst und auch unbewusst wahrgenommene Informationen vermitteln.

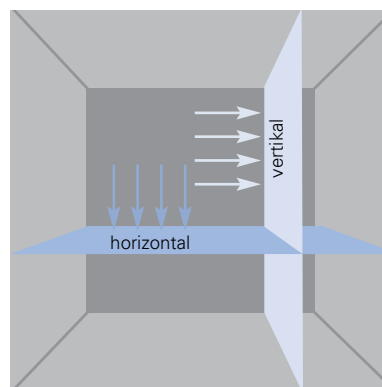
Lichtrichtung und Körperwiedergabe

Der Begriff Körperwiedergabe (auch Schattigkeit genannt) umschreibt alle Eigenschaften der Beleuchtung, die die Wiedergabe von räumlichen Objekten (z. B. Gesichtern) beeinflussen. In Innenräumen sollte zu stark gerichtetes Licht in der Regel vermieden werden, da es nicht nur die Bildung von Schlagschatten, sondern auch das Entstehen von Reflexen auf nicht matten Oberflächen fördert.



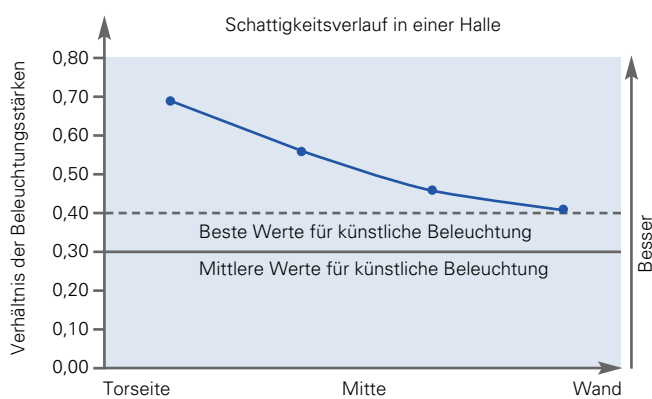
Erscheinungsbilder von räumlichen Objekten bei unterschiedlicher Schattigkeit. Wenig gerichtetes Licht (links, oben) bringt die Räumlichkeit und die Gegenstände nicht zur Geltung, bei optimaler Schattigkeit (rechts, oben) erkennt man die räumlichen Strukturen gut, während eine zu stark gerichtete Beleuchtung (links, unten) zu harte Schatten erzeugt. Bei gezielter Anstrahlung eines Objekts wird dieses besonders hervorgehoben (rechts, unten). Aus „RaumLicht-LichtRaum“ von Prof. Rudolf Schricker, DVA-Verlag.

Für die Bewertung der Körperwiedergabe verwendet man das Verhältnis vom Lichteinfall in der horizontalen zur vertikalen Ebene.



Horizontal gemessene Werte sind für Sehbjekte bedeutsam, die auf dem Tisch liegen, vertikal gemessene für Gesichter, Wände etc. (Quelle: ERGONOMIC Institut, Berlin).

Bei einer Tageslichtbeleuchtung mit Oberlichtern ist mit guten Verhältnissen bezüglich der Schattigkeit zu rechnen. Bei Räumen mit Fenstern auf zwei Seiten ist die Körperwiedergabe in der Regel günstig. Bei einseitigen Fenstern hängt sie dagegen stark von der Blickrichtung ab. Die Grafik auf Seite 9 oben zeigt Werte aus einer Halle mit Oberlichtern, drei lichtundurchlässigen Seitenwänden und einem mit Fenstern bestückten Tor. Die Werte liegen an allen Messpunkten höher als bei der günstigsten künstlichen Beleuchtung und viel höher als bei der üblichen Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen.



Messwerte für die Körperwiedergabe bzw. Schattigkeit (Verhältnis der „zylindrischen“ Beleuchtungsstärke zur Horizontalbeleuchtungsstärke) in einer Halle. Die durchgehende Linie (0,3) markiert den Mittelwert für Beleuchtung mit üblichen Leuchten an Bildschirmarbeitsplätzen, die gestrichelte (0,4) den für gut gestaltete Indirektbeleuchtungen. (Quelle: ERGONOMIC Institut, Berlin).

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die Lichtfarbe des Tageslichts ist veränderlich, zudem hat das Sonnenlicht eine andere spektrale Verteilung als das diffuse Himmelslicht. Diese Veränderlichkeit macht sich in der Regel nicht störend bemerkbar, sondern wird eher als angenehm empfunden. Die Farbwiedergabe des Tageslichts ist sehr gut und wird nur von wenigen künstlichen Lichtquellen näherungsweise erreicht.

Begrenzung der Lichtwelligkeit

Tageslicht hat keine Welligkeit, da es nicht flackert oder flimmert. Diesbezüglich ist es künstlicher Beleuchtung mit Leuchtstofflampen überlegen, insbesondere wenn diese mit konventionellen statt mit elektronischen Vorschaltgeräten betrieben werden.

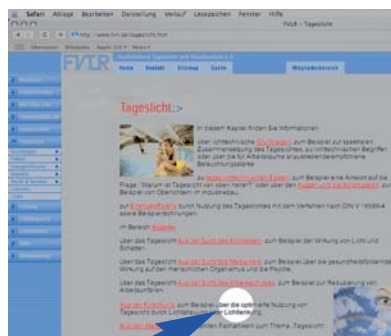
Vermeidung störender Spiegelungen auf dem Bildschirm

Bezüglich der Erzeugung von störenden Reflexionen auf dem Bildschirm unterscheidet sich die Tageslichtbeleuchtung mit Oberlichtern nicht grundsätzlich von einer künstlichen Beleuchtung mit Deckenleuchten bzw. einer Indirektbeleuchtung. Die vom Himmelslicht herrührenden Spiegelungen wirken sich bei gleicher Position der Störquelle aber weit weniger negativ aus als bei der künstlichen Beleuchtung, weil die Leuchtdichte der Tageslichtquelle viel geringer und ihre Ausdehnung größer ist.

Bewusste und unbewusste Wahrnehmung der Umgebung

Der wesentliche Unterschied zwischen der bewussten Wahrnehmung des Arbeitsraums sowie der Arbeitsumwelt und dem bewussten Sehen von Arbeitsgütern besteht in der erforderlichen Präzision: Während ein Mensch möglichst alle Details zu erkennen versucht, die für die Erledigung der Aufgabe sinnvoll nutzbar sein könnten, ist dies für die Wahrnehmung der Umgebung meist weder erforderlich noch sinnvoll.

Nun ist das Auge so aufgebaut, dass es nur in dem kleinen zentralen Bereich der Netzhaut (Fovea) scharf wahrnimmt, in dem restlichen Teil nach außen hin jedoch zunehmend unschärfer. Dieser Aufbau unterstützt die Filterung von absichtlich gesehener Information und weiteren Informationen aus der Umgebung des fixierten Bereichs, die mehr der Orientierung dienen. Während das scharfe Sehen nur innerhalb eines Kegels mit einer Öffnung von 2° stattfindet, erfolgt die unscharfe, aber bewusste Wahrnehmung der Umgebung bis etwa 45°.



Relative Größe des scharf gesehenen Bereichs auf einem Bildschirm bei einer Sehentfernung von 50 cm (heller Fleck). Der Rest des Bildschirms wird unschärfer gesehen, der dahinter liegende Raum ganz unscharf.

Die unbewusste Wahrnehmung im Bereich zwischen 45° und 90° ist unverzichtbar für die Orientierung im Raum, die rechtzeitige Gefahrenerkennung (Türschwelle, Trittstufenkanten etc.) und die Reaktion des reflektorischen Abwehrsystems auf Gefahren.

Die für die Wahrnehmung der Umgebung verantwortlichen Stäbchen sind im blauen Wellenlängenbereich empfindlicher als die Zapfen in der Fovea. Das Spektrum des Tageslichts unterstützt ihre Aktivität besser als die Lichtquellen, die für das Spektrum der Zapfen optimiert sind. Eine Tageslichtbeleuchtung ermöglicht daher nicht nur durch ihre Dynamik eine bessere Orientierung während der helleren Tageszeit, sondern auch durch ihr Spektrum.



Qualität der Tageslichtbeleuchtung

Für die Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz sind bestimmte Eigenschaften des einfallenden Tageslichts von besonderer Bedeutung:



Informationsgehalt

Das Tageslicht überträgt bestimmte Informationen an den Körper, die er für seine Regulation benötigt, z.B. für die Anpassung an den 24-Stunden-Rhythmus des Tages. Weiterhin vermittelt das natürliche Licht Informationen über die Außenwelt wie Wetter, Jahreszeit oder farbliches Erscheinungsbild.

Die Notwendigkeit einer optischen Verbindung zur Außenwelt ist schon lange anerkannt und hat die Gestaltung von Arbeitsstätten in erheblichem Maße beeinflusst. Auch wenn die heute gültige Arbeitsstätten-Verordnung die „Sichtverbindung nach außen“ nicht mehr explizit fordert, so ist sie dennoch unverzichtbar.

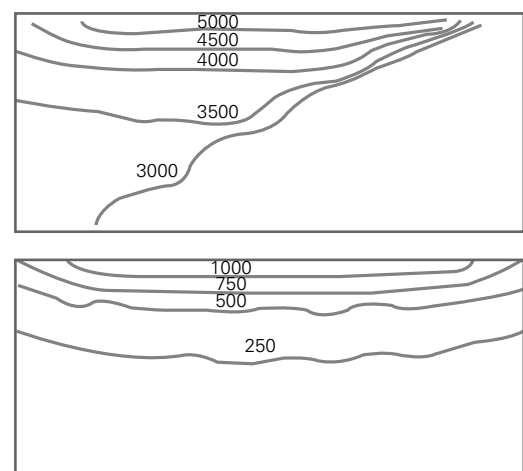
Vertikalbeleuchtungsstärke am Auge

Für bestimmte gesundheitliche Wirkungen des Lichts ist auch der Strahlungseinfall ins Auge maß-

geblich. Dieser wird in der Lichttechnik als Vertikalbeleuchtungsstärke bezeichnet. Da die Steuerung der Melatoninausschüttung in das Blut durch Empfänger erfolgt, die eine andere Empfindlichkeitskurve $C(\lambda)$ aufweisen als die Stäbchen, entspricht die gemäß $V(\lambda)$ bewertete Vertikalbeleuchtungsstärke nicht der eigentlichen Wirkgröße. Je nach Lichtquelle kann die Wirkung bis zu einem Faktor 3 überschätzt werden.

Die Vertikalbeleuchtungsstärken, die allein durch künstliche Beleuchtung erzeugt werden, sind geringer im Vergleich zu denen, die im Freien herrschen. Sie sollen gemäß Norm etwa ein Drittel der geplanten Horizontalbeleuchtungsstärke betragen. So würde man bei einer normgerechten Kunstlichtanlage in einem Büroraum (500 lx) nur circa 170 lx am Auge messen.

Bei Tageslicht hingegen treten zeitweilig ungleich höhere Beleuchtungsstärken auf. In welcher Größenordnung diese liegen, geht aus den folgenden Diagrammen hervor.



Unterschiede der Horizontalbeleuchtungsstärken in einem östlich (oben) und nördlich (unten) ausgerichteten Raum (beispielhaft für den 21. Januar, morgens um 09:00 Uhr, nördliche Breite 40°) (Quelle: Yener, A.K.: Ein Modell zur Bestimmung natürlicher Beleuchtungsstärke in Innenräumen, LICHT '98, Bregenz, 1998, S. 190-197))

Es kann abgeleitet werden, dass die Vertikalbeleuchtungsstärke am Auge über einen großen Teil des Tages fast eine Größenordnung (Faktor 10) höher liegen kann als bei künstlicher Beleuchtung, wenn in Fensternähe gearbeitet wird.

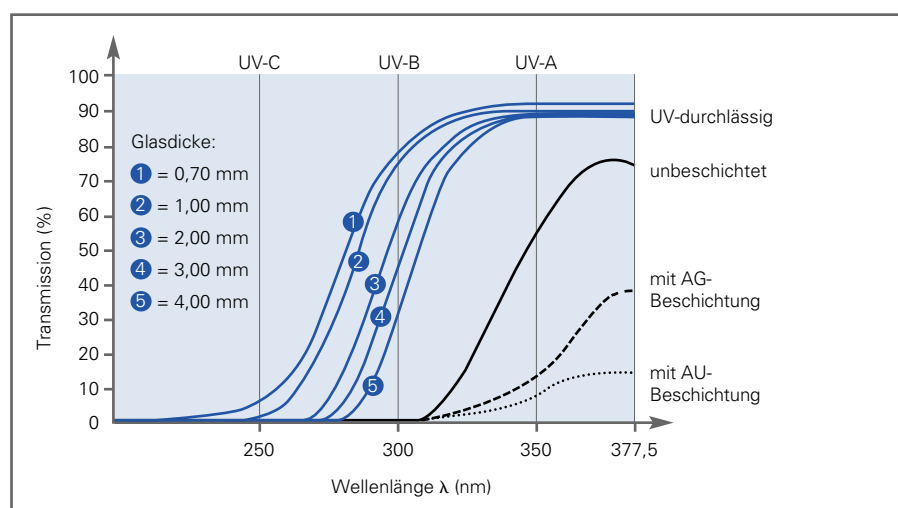
Unverfälschtes Spektrum des Tageslichts

Da ein erheblicher Teil der Informationen aus der Umwelt durch Tageslichtöffnungen in den Raum gelangt, sollte die spektrale Zusammensetzung des einfallenden Tageslichts möglichst wenig verändert werden. Schon das normale Fensterglas filtert bereits erhebliche Teile der UV-Strahlung aus. Bei den heutzutage üblichen, meist wegen Energieeinsparung verwendeten beschichteten Gläsern mit niedrigen U-Werten ist die Filterung noch deutlicher. Den Menschen, die sich tagsüber ausschließlich in Räumen hinter diesen Verglasungen aufhalten, fehlen somit die entsprechenden Teile der Strahlung, die für die Gesundheit unverzichtbar sind.

Daneben gibt es Verglasungsmaterialien, bei denen ein Teil des Spektrums bevorzugt herausgefiltert wird, um z. B. möglichst viel Tageslicht ins Gebäude holen zu können, aber gleichzeitig möglichst wenig Wärmestrahlung einzulassen (Sonnenschutzgläser). Die hierzu verwendeten Gläser schneiden aber auch einen Teil des Lichts im blauen Bereich ab, der für die Empfänger im Auge, die für die circadiane Rhythmik verantwortlich sind, sehr wichtig ist. Andere Verglasungen filtern Teile der sichtbaren Strahlung aus, um Blendung zu reduzieren. Solche Gläser verfälschen aber sowohl das Erscheinungsbild der Gegenstände im Innenraum als auch das Erscheinungsbild der Außenwelt. Um alle Vorteile des Tageslichts nutzen zu können, sollten möglichst farbneutrale Verglasungsmaterialien mit höheren Transmissionsgraden eingesetzt werden.

Dynamik

Die für den Menschen wichtigen Informationen werden insbesondere durch Veränderungen von Merkmalen wie Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Lichteinfallrichtung (Veränderung der Leuchtdichtemuster im Raum) oder Intensität (Beleuchtungsstärke) gegeben. Die Dynamik der visuellen Umgebung stellt daher ein wesentliches Gütemerkmal für die Tageslichtbeleuchtung dar. Eine möglichst gute Anpassung der Verhältnisse im Innenraum an den zeitlichen Verlauf des Tageslichts dient zudem der Gesundheit.



Transmission UV-durchlässiger Gläser (z. B. BOROFLOAT® 33) sowie Transmission konventioneller und edelmetallbeschichteter Isolierverglasungen im Bereich der UV-Strahlung

Fazit

Tageslicht hat aufgrund seiner Zusammensetzung und Dynamik erwiesene Vorteile gegenüber Kunstlicht. Es unterstützt die Sehaufgabe und trägt entscheidend zum Wohlbefinden und zur Leistungssteigerung bei. Aus diesen Gründen sollte Tageslicht möglichst extensiv genutzt werden. Innovative Materialien und Beleuchtungstechniken sowie ein vielfältiges Produktspektrum z. B. an Oberlichtern und Fenstern ermöglichen es, Tageslicht je nach Nutzungsanforderung in verschiedensten Gebäudetypen gezielt einzusetzen.

Oberlichter als Geschenk des Himmels



■ Das Buch „Oberlichter – Beleuchtung als Geschenk des Himmels“ von Dr.-Ing. Udo Fischer bietet dem Leser eine grundlegende und dabei leicht verständliche Einführung in die Themenbereiche Tageslichtbeleuchtung und Oberlichter. Es werden sowohl die wichtigsten Aspekte des Tageslichts als auch die meteorologischen, materialtechnischen und architektonischen Bedingungen für den

Einsatz von Oberlichtern behandelt. Planer und Architekten erhalten ausführliche Hilfestellung bei der Planung, Auswahl und Dimensionierung von Lichtkuppeln und Lichtbändern. Das übersichtliche Sachregister verweist auf ergänzendes Bild-, Text- und Datenmaterial auf der beiliegenden CD-ROM. Das Buch ist unter der ISBN-Nummer 3-87414-093-8 im Kleffmann Verlag, Bochum, erschienen und kann zum Preis von 98 Euro direkt beim FVLR unter www.fvlr.de bezogen werden.

Tageslicht nutzen



■ Das Buch „Tageslicht nutzen“ der Autoren A. Cakir, G. Cakir, M. Kischkoweit-Lopin und V. Schultz enthält in komprimierter Form die Ergebnisse einer interdisziplinären Studie zur Bedeutung von Dachlichtöffnungen für Ergonomie, Architektur und Technik. Es zeigt die Synergieeffekte zwischen der Raumarchitektur einerseits und der (Tageslicht-)Technik andererseits auf, wobei auch den funktionalen,

gesundheitlichen und emotionalen Bedürfnissen der Nutzer Rechnung getragen wird. Der vollständige Bericht zur Studie steht auf der beiliegenden CD-ROM druckaufbereitet zur Verfügung. Das Buch ist unter der ISBN-Nummer 3-87414-037-7 im Kleffmann Verlag, Bochum, erschienen und zum Preis von 20,35 Euro direkt beim FVLR unter www.fvlr.de bestellbar.

Weitere Informationen zu den gesetzlichen Anforderungen des Baurechts und des Arbeitsschutzes, zu den wesentlichen berufsgenossenschaftlichen und normativen Regelwerken sowie zur weiterführenden Fachliteratur und ein umfassendes Glossar mit tageslichtspezifischen Fachbegriffen finden sich auf den Internetseiten des FVLR unter www.fvlr.de.

Bildnachweis: Aus dem Archiv des FVLR und seiner Mitgliedsunternehmen

Eine Haftung oder Gewährleistung aus dieser und anderen Veröffentlichungen wird ausdrücklich ausgeschlossen.

Mit freundlicher Empfehlung

FVLR-Publikationen zum Thema Tageslicht können als Einzelexemplare kostenlos angefordert werden unter www.fvlr.de/publikationen.htm.

Heft 9: Tageslichtberechnung im Detail. Enthält eine Formel, mit der die Gesamtfläche der Oberlichter im Rohbaumaß überschlägig ermittelt werden kann.



Heft 10: Zusatznutzen von Lichtkuppeln und Lichtbändern: Raumlüftung. Enthält lüftungstechnische Grundlagen, Berechnungsformeln und Hinweise zur Geräteauswahl.



Heft 11: Gestaltung mit Dachlichtelementen. Überblick zur Geschichte der Tageslichtarchitektur, Hinweise für die Tageslichtplanung mit Dachlichtelementen und Tipps für den kreativen Umgang mit Tageslicht.



Heft 13: Tageslicht und Ergonomie. Leben und arbeiten mit Tageslicht. Das Heft gibt Anregungen zur effizienten Nutzung von Tageslicht am Arbeitsplatz.



Heft 15: Gestalten mit Tageslicht. Lichtplaner über Lichtkonzepte, Lichtverteilung, Raumqualität, Raumgestaltung und Oberlichtvariationen.



FVLR

Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e. V.

Ernst-Hilker-Straße 2
32758 Detmold
Telefon 0 52 31/3 09 59-0
Telefax 0 52 31/3 09 59-29
www.fvlr.de
info@fvlr.de