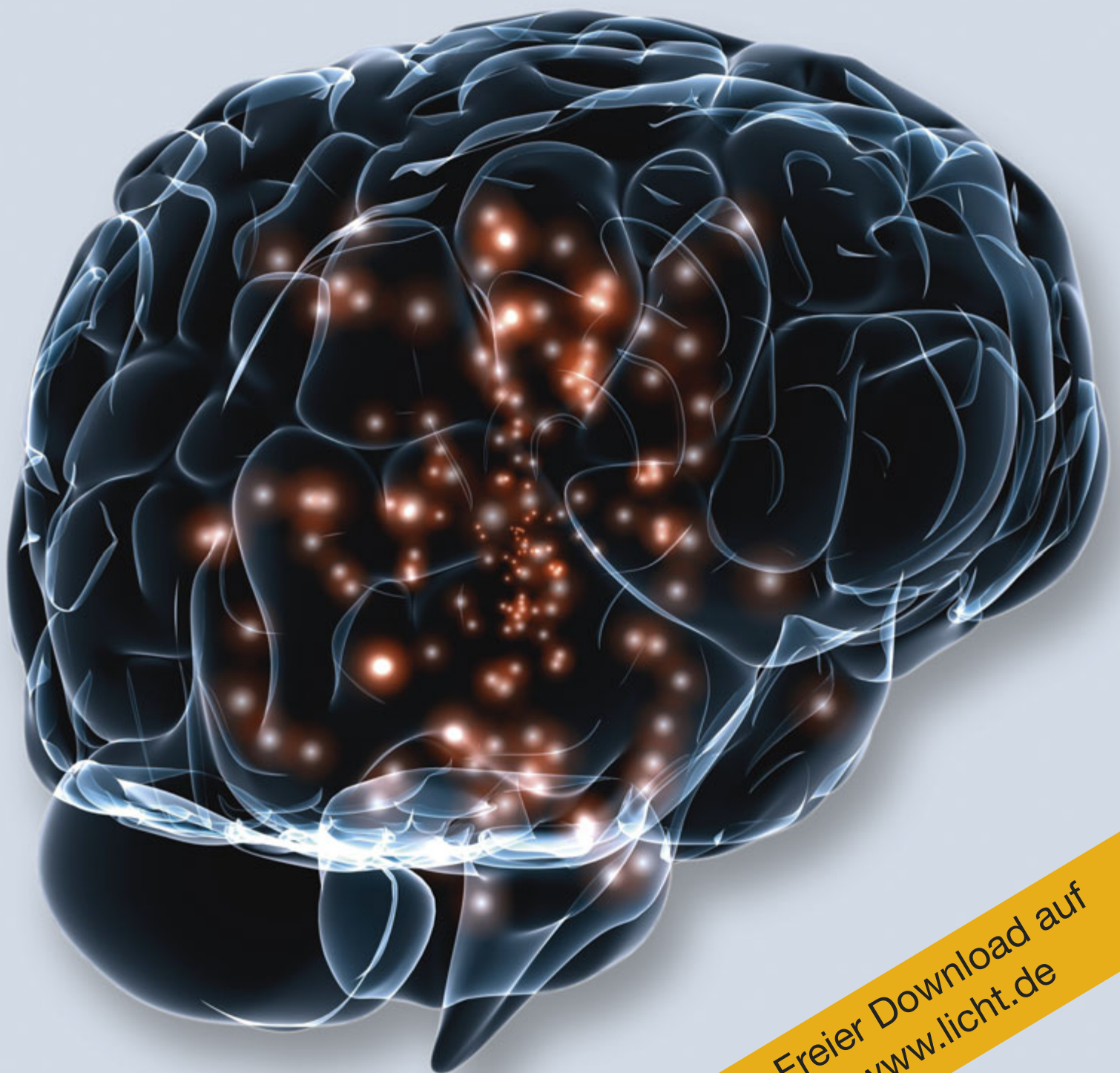


licht.wissen 19

Wirkung des Lichts auf den Menschen



Freier Download auf
www.licht.de





Editorial

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat seit Beginn seiner LED-Leitmarktinitiative Ende 2008 für Technologie- und die kommunalen Pilotprojekte zusammen gut 40 Millionen Euro bereitgestellt. Mit dem Wettbewerb „Kommunen in neuem Licht“ und den zwei Branchenprojekten „UNILED“ und „Performance Quality Label“ (PQL) konnten wir belegen, dass die LED-Technik

- ohne große Zusatzinvestitionen im Rahmen der vorhandenen Infrastruktur verwendbar ist,
- Energieeinsparungen zwischen 50 und 90 Prozent ermöglicht,
- von Benutzern und Anwohnern als eine Verbesserung der Beleuchtung empfunden wird.

Basierend auf diesen Projektergebnissen hat die Bundesregierung die Umsetzung der neuen Lichttechnik vorangetrieben. Das BMU hat inzwischen im Rahmen der Kommunalrichtlinie Energieeffizienz für die LED-Beleuchtungstechnologie mehrere hundert LED-Projekte gefördert. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Straßenwesen hat 2013 in einem Erlass die LED zur maßgeblichen Beleuchtungslösung für die Liegenschaften des Bundes gemacht. Erste Bundesländer haben sich diesem Erlass angeschlossen (Baden-Württemberg, in Kürze NRW). Damit hat die LED-Leitmarktinitiative ihr Ziel erreicht. Deutschland ist auch im internationalen Vergleich ein Leitmarkt für die LED-Technik. Nicht nur mit international sichtbaren Vorzeigeprojekten wie in Freiburg, München, Trier und anderswo, sondern auch in Euro und Cent für die zahlreichen, zumeist mittelständischen Unternehmen.

Verbunden mit der LED-Technologie ist der Bereich der Wirkung des Lichts auf den Menschen. Mit den heutigen Untersuchungsmethoden und Messverfahren lassen sich die Wirkungen des Lichts auf Physis, Psyche und das Zusammenleben sehr viel genauer erforschen als früher. Und mit den neuen Möglichkeiten, die die LED-Technik etwa bei der Farbeinstellung und Farbwiedergabe bietet, lassen sich diese Erkenntnisse viel einfacher nutzen, als das mit der herkömmlichen Lichttechnik möglich war. Als die Stadtwerke in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts für das neue städtische Gaslicht warben, da wurde nicht viel mehr als die Helligkeit gemessen – damals in „Kerzen“. Im 20. Jahrhundert kamen die Kategorien Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke, Kontrastwiedergabe und Blendung hinzu. Jetzt beginnen die Farbe und Temperatur des Lichts sowie die Wirkung des Lichts im Wechselspiel mit den beleuchteten Materialien und der menschlichen Wahrnehmung, eine zentrale Rolle zu spielen.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat 2013 mit seinem Förderaufruf „Intelligente Beleuchtung“ dazu eingeladen, Grundlagenforschung zu diesen Fragen durchzuführen. Die ausgewählten Projekte werden in Kürze starten. Mit der neuen Technik wird Forschung wieder zu einem wichtigen Thema für die Lichtbranche. Ich freue mich auf die neuen Lichtlösungen, für die diese Broschüre zahlreiche Beispiele liefert.

Dr. Frank Schlie-Roosen
Referatsleiter Optische Technologien/Photonik
Bundesministerium für Bildung und Forschung



**Besseres Licht
für mehr
Lebensqualität**
Seite 6



**Licht prägt die
Evolution des
Menschen**
Seite 8



**Biologische
Rhythmen**
Seite 10



Die innere Uhr
Seite 14



**Melanopische
Lichtwirkungen**
Seite 18



**Biologisch
wirksames Licht in
Innenräumen**
Seite 20



**Lichtqualität und
Energieeffizienz**
Seite 32

Licht-Spezial

Lichttherapie
Seite 24

DIN SPEC 67600: Hinweise zur Lichtplanung
Seite 28





Licht im Büro
Seite 34



Licht in der Industrie
Seite 36



Licht in der Schule
Seite 38



Licht im Krankenhaus
Seite 40



Licht im Seniorenheim
Seite 42



Licht für zu Hause
Seite 44



Ausblick
Seite 48



Schriftenreihe, Impressum
Seite 54



Das Spektrum der Lichtquellen
Seite 46



Glossar
Seite 50

beschrieben, aber mehr weißes Licht, wie das Tageslicht mit 6.500 K (Blickerlektromotiv).

Spektrale Eingestricheln – Spezielle Eingestricheln für eine durch Licht ausgelöste Wirkung (Maximum des Aktionspotentials des Rezeptors) – Dritter Rezeptor liegt eine 400 Nanometer, also im blauen Bereich für den Menschen sichtbar.

Horizontale – Hormon mit anregender Wirkung (Beispiel auf Herz, Kreislauf oder Lung. Produktion wird es im Kern der Nervenzellen).

– Diese Klarheit ist die für einen natürlichen Rhythmus biologischer Zyklen für Organismen.

Chronochrome – Lichte von zeitlichen Zusammenhängen biologischer Prozesse.

Chronomer – Die innere Uhr steuert den Chronomer. Die beiden Extreme sind der Frühmorgens (Licht) und der Langzeitlicht (Licht) mit allen Abstufungen dazwischen. Der Chronomer wird zusätzlich durch die Schwere und Alter beeinflusst.

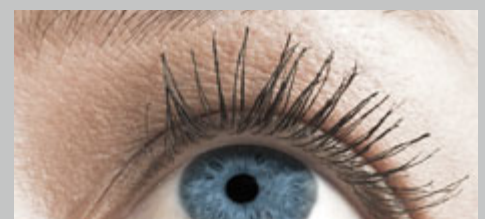
Chronischer Rhythmus – Biologischer Rhythmus mit einer Periode von etwa 24 Stunden (Lichtschicht: Licht – ungefähr, wie – Tag, wie zum Beispiel der Schlaf / Wach-Rhythmus des Menschen. Licht ist der wichtigste Zeitgeber. Zwei bis drei Gangarten sind selbst in Licht. Die enthalten das Pigment und lösen biologische Reaktionen aus.

Zeitgeber – Bereich der Lichter Augen liegt und ohne Augen auf der Haut angestrichelt wie.

Photische Chronochrome – geben den Chronomerzeitgeber, die indem der selbst Hormone durch Licht-Schleife andere Organe ansteuert.

Photische Chronochrome – Das Licht wie chronochrome Zeitgeber.

Normen und Literatur
Seite 52



Besseres Licht für mehr Lebensqualität

Licht taktet unsere „innere Uhr“. Eine Beleuchtung, die über die visuelle Wirkung hinausgeht und sich am Tageslicht orientiert, unterstützt den Menschen rund um die Uhr: Er fühlt sich wohl, ist leistungsfähig und kann besser schlafen.

[03] Licht ist Leben: Es dient nicht nur zum Sehen, sondern wirkt sich auch unmittelbar auf Wohlbefinden und Gesundheit des Menschen aus.

Kurz erklärt

Die Chronobiologie beschäftigt sich mit den **nicht-visuellen Wirkungen von Licht**. Häufig ist in diesem Zusammenhang von einer **biologisch wirksamen Beleuchtung** die Rede. Eine „biologische Lichtwirkung“ beschreibt jedoch auch die Sehvorgänge und ist insofern unspezifisch. Präziser ist der Begriff **melanopische Lichtwirkung**, der auch in der neuen DIN SPEC 5031-100 verwendet wird: Er bezieht sich darauf, dass die nicht-visuellen Wirkungen von Licht über spezielle Fotorezeptoren vermittelt werden, die das lichtempfindliche Molekül Melanopsin tragen.

Mitunter wird auch von einer **circadianen Beleuchtung** gesprochen. Dieser Begriff ist korrekt, wenn die Beleuchtung darauf ausgerichtet ist, den Tag-Nacht-Rhythmus des Menschen zu stabilisieren. Für kurzfristige „Lichtduschen“, die zur raschen Aktivierung genutzt werden können, ist dieser Begriff nicht zu verwenden.

Häufig genutzt wird auch der Begriff **dynamische Beleuchtung**. Diese kann eine circadiane Wirkung haben, wenn Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke nach dem Vorbild des Tageslichts variieren. Gleichzeitig beschreibt der Begriff aber auch Lichtwechsel (zum Beispiel in der Farbigkeit) ohne biologische Wirkung.

Licht tut gut. Das erleben wir jedes Jahr zu Beginn des Frühjahrs: Werden die Tage wieder heller, fühlen wir uns aktiver, sind besser gelaunt und meist auch konzentrierter als in den dunklen Wintermonaten.

Damit wird deutlich, dass der Mensch Licht nicht nur braucht, um gut sehen zu können. Licht hat eine viel weiter reichende Bedeutung: Es taktet die „innere Uhr“ des Menschen – ein kompliziertes Steuersystem, das sämtliche Körperfunktionen im 24-Stunden-Rhythmus koordiniert und aufeinander abstimmt. Dieses Steuersystem muss täglich aufs Neue durch das Tageslicht synchronisiert werden. Fehlt der Lichtreiz als wichtiger Zeitgeber, kommt die innere Uhr aus dem Takt. Dies kann dazu führen, dass der Mensch antriebslos und müde wird, unter Stimmungsschwankungen leidet oder gar das Immunsystem erkrankt.

Um die Jahrtausendwende identifizierten Wissenschaftler jene Fotorezeptoren in der Netzhaut des Auges, die nicht dem Sehen dienen – aber die innere Uhr stellen. Diese Zellen reagieren äußerst sensibel auf Licht mit hohen Blauanteilen.

Diese Entdeckung hat dem Thema Licht und Gesundheit eine ganz neue Dynamik verliehen: Heute kann durch eine entsprechende Beleuchtung die Lebensqualität des Menschen entscheidend verbessert werden. Eine circadian wirksame Beleuchtung, die das Tageslicht in Innenräume bringt und bedarfsgerecht durch künstliches Licht ergänzt,

- unterstützt den Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen,
- trägt dadurch zu mehr Vitalität und einem besseren Schlaf bei,
- fördert Wohlbefinden und Gesundheit,
- sorgt für mehr Leistungskraft und Konzentration.

Das richtige Licht unterstützt den Menschen

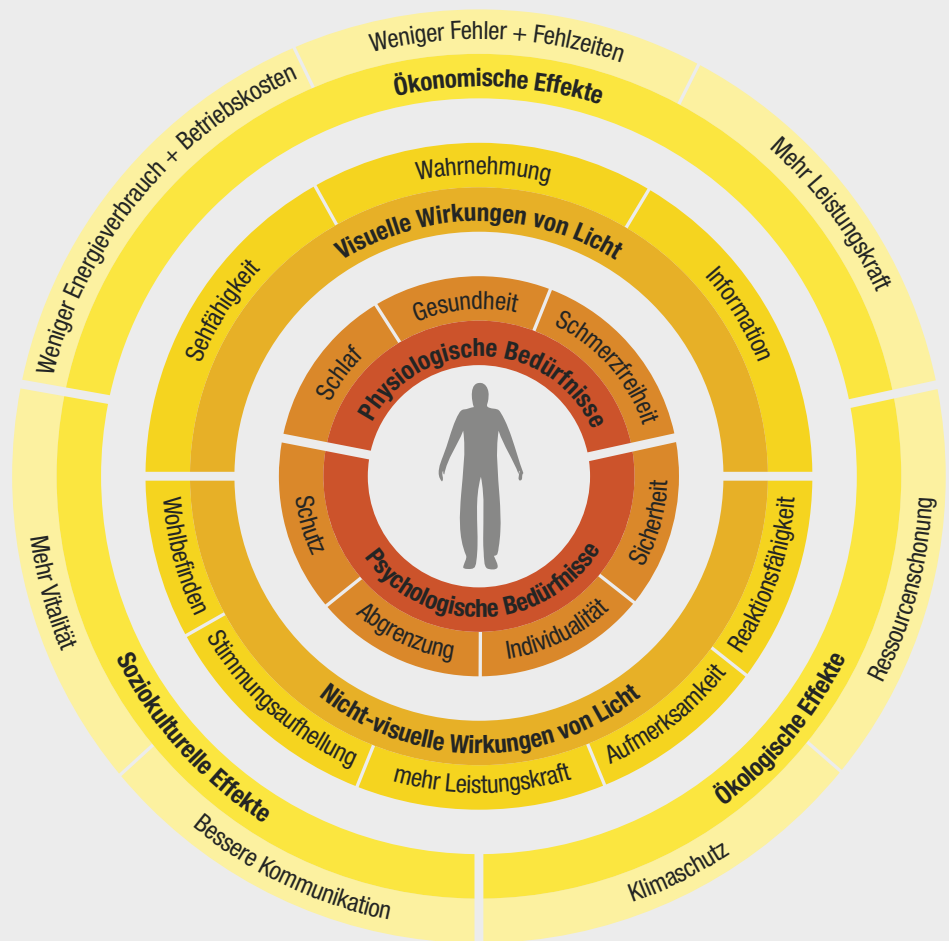
Zahlreiche Studien weltweit und immer mehr praktische Anwendungen belegen die Vorteile einer dynamischen Beleuchtung. Sie kann den modernen, fast rund um die Uhr tätigen Menschen der Industriegesellschaften wieder mit seiner inneren Uhr in Einklang bringen.

Wir bewegen uns nur noch wenig im Freien, halten uns vorwiegend in Innenräumen mit künstlicher Beleuchtung auf. Hier fehlen in der Regel Dynamik und biologische Wirkung des Tageslichts. Das hat Folgen für die Leistungskraft und die Gesundheit der Menschen: Fast 40 Prozent der Deutschen leiden in den Wintermonaten unter fehlender Antriebskraft und Stimmungsschwankungen, die sich bis zu Depressionen auswachsen können. Eine Beleuchtung mit nicht-visuellen Effekten kann hier schon frühzeitig gegenwirken.

Besonders wichtig ist eine gute Beleuchtung für ältere Menschen. Ihre Zahl wird im Zuge des demografischen Wandels weiter ansteigen, und eine gute Lichtplanung muss sich darauf einstellen. Im Alter steigt nicht nur der Lichtbedarf, um Sehaufgaben – zum Beispiel am Arbeitsplatz – besser erfüllen zu können. Auch die Schlafqualität lässt kontinuierlich nach. Durch eine melanopisch wirksame Beleuchtung mit altersgerecht angepassten Lichtstärken kann der Organismus stabilisiert werden – für mehr Wohlbefinden und Motivation.

Das neu aufgelegte Heft 19 berücksichtigt aktuelle Forschungsergebnisse und stellt neue Anwendungsbeispiele vor. Der Wechsel zu energieeffizienter LED-Beleuchtung und die Entwicklung intelligenter Lichtsteuersysteme sind nicht nur der Schlüssel zu äußerst energieeffizienten Lichtlösungen. Sie bieten darüber hinaus

Wirkungsmodell Mensch und Licht



02

© licht.de

ganz neue Möglichkeiten, mit einer intelligenten Beleuchtung die funktionalen, emotionalen und auch biologischen Bedürfnisse des Menschen gleichermaßen zu unterstützen.

Die Bedeutung biologisch wirksamer Lichtkonzepte steigt

Die Technologie für eine biologisch wirksame Beleuchtung ist vorhanden, und die Nachfrage steigt: Eine aktuelle Marktstudie der internationalen Unternehmensberatung A.T. Kearney im Auftrag von ZVEI - Zentralverband für Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. und LightingEurope prognostiziert, dass „Human Centric Lighting“ bereits 2020 einen Anteil von rund sieben Prozent am Beleuchtungsmarkt haben wird. Das Gros der Anwendungen wird nach dieser Schätzung in Bürogebäuden, im Gesundheitswesen, der Industrie sowie im Bildungs- und privaten Wohnbereich umgesetzt.

Hier sind gemeinsame Bemühungen aller Beteiligten erforderlich, um den Weg weiter zu ebnen. Weitere Forschungsarbeiten sind ebenso notwendig wie eine umfassende Aufklärung über den Zusammenhang von „Licht und Gesundheit“. Die vorliegende Broschüre möchte dazu einen Beitrag leisten. Auch die Politik ist gefordert. So müssen die nicht-visuellen Wirkungen von Licht in relevanten Regelwerken stärker berücksichtigt werden. Planer und Entscheider brauchen verlässliche Planungsempfehlungen, wie sie jetzt erstmals in der DIN SPEC 67600 formuliert sind. Die Planung einer biologisch wirksamen Beleuchtung erfordert viele Detailkenntnisse und muss künftig auch in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) berücksichtigt werden.

Ein wichtiger Schritt ist getan: So ist es heute nach einem Urteil des OLG Düsseldorf möglich, in öffentlichen Ausschreibungen nicht nur die Energieeffizienz, sondern auch die Qualität einer Beleuchtungsanlage als Entscheidungskriterium auszuwählen und zu bewerten. Biologisch wirksame Beleuchtung wird damit zu einem wichtigen Qualitätsaspekt im Gebäude: Künftig zählt nicht mehr nur der Energieverbrauch, sondern der Beitrag der Beleuchtung zum Wohlbefinden des Menschen.

03





Licht prägt die Evolution des Menschen

Licht ist Leben. Unter dem Einfluss der Sonne entwickelten sich vor drei Milliarden Jahren die ersten Lebewesen auf der Erde. Den „weisen“ Menschen (*Homo sapiens*) gibt es seit etwa 200.000 Jahren. Lange Zeit kannte er nur das Feuer; erst seit rund 150 Jahren nutzt er elektrisches Licht. Kein Wunder also, dass Tageslicht den Menschen geprägt hat.

Alles Leben auf der Erde ist räumlich und zeitlich organisiert. Viele natürliche Vorgänge verlaufen rhythmisch. Die Erde dreht sich in 24 Stunden um ihre Achse und in 365 Tagen um die Sonne. So entstehen Tag und Nacht, Sommer und Winter. Der Mond wiederum dreht sich um die Erde. Er bewirkt die Meeres-Gezeiten mit periodisch wiederkehrender Ebbe und Flut und bestimmt im Wechselspiel mit der Sonne den monatlichen Rhythmus. Diese Zyklen haben die Lebensräume auf der Erde stark beeinflusst. So passen zum Beispiel viele Pflanzen ihre Überlebensstrategie an Tag und Nacht an. Sie öffnen ihre Blüten mit dem ersten Sonnenlicht. Dadurch wird ihr Nektar für Insekten erreichbar, die wiederum ihre Sammelflüge auf den Rhythmus der Pflanzen anpassen und sie bestäuben. So sichern sie ihren eigenen Fortbestand und zugleich den der Pflanze.

Das Beispiel zeigt, dass Organismen im Laufe der Entwicklung ihre innere Uhr immer wieder biologisch sinnvoll an äußere Rhythmen anpassen mussten. Diese Fähigkeit hat sich evolutionsbiologisch als Vorteil herausgestellt.

Auch der Mensch hat ein genetisch verinnerlichtes Wissen über Zeiträume entwickelt. So funktioniert zum Beispiel sein Körper nachts ganz anders als tagsüber. Das war notwendig, damit der Mensch in früher Zeit überleben konnte: Tagsüber musste er körperlich fit sein, auf die Jagd gehen und für Nahrung sorgen, nachts verlangte der Körper Schlaf und Erholung. Und auch heute noch ist der menschliche Organismus auf den regelmäßigen Wechsel von Wach- und Schlafphasen eingestellt. Sie tragen entscheidend zu Gesundheit und Wohlbefinden bei.

[04–06] Tag oder Nacht, Sommer oder Winter: Licht bestimmt den Lebensrhythmus auf der Erde. Auch der Mensch hat sich im Laufe der Evolution angepasst und eine innere Uhr entwickelt.



05



06



Biologische Rhythmen

Vom Gehirn kontrolliert, läuft im menschlichen Körper jeden Tag das gleiche Programm ab. Die innere Uhr steuert Schlaf- und Wachphasen, aber auch Herzfrequenz, Blutdruck und Stimmung. Jede Zelle und jedes Organ hat einen eigenen Rhythmus, der regelmäßig mit der Außenwelt synchronisiert werden muss. Der Mensch orientiert sich dazu vor allem an der Helligkeit des Tages und der Dunkelheit der Nacht.

Viele Körperfunktionen des Menschen und anderer Lebewesen verlaufen zyklisch. Chronobiologen unterscheiden je nach Periodenlänge drei wichtige Kategorien:

- *Ultradiane Rhythmen* betragen jeweils nur wenige Stunden, wie zum Beispiel Tageszeiten oder Hunger-, Schlaf- und Wachphasen bei Säuglingen.
- *Circadiane Rhythmen* orientieren sich an Tag und Nacht. Sie dauern 24 Stunden (circa = ungefähr, dies = Tag).
- *Infradiane Rhythmen* schließlich sind länger als 24 Stunden, wie beispielsweise der Wechsel der Jahreszeiten.

Circadianer Rhythmus

Der Mensch und seine Körperfunktionen folgen tages- und jahreszeitlichen Rhythmen. Von der Zelle bis zu den Organen, jede Einheit steuert ihr zeitliches Programm selbst. Atmung und Herzschlag, Wachen und Schlafen: Alle biochemisch kontrollier-

ten Funktionen haben im Laufe eines Tages ihre individuellen Hoch- und Tiefpunkte.

Kurz vor dem Aufwachen steigt die Körpertemperatur, Blutdruck und Pulsfrequenz erhöhen sich. *Etwa eine Stunde später* produziert der Körper stimulierende Hormone. Mediziner wissen, dass die gefährlichste Zeit für einen Herzinfarkt vormittags *zwischen 10 und 12 Uhr* ist. Zum gleichen Zeitpunkt dagegen fallen knifflige Denksportaufgaben wie Sudoku am leichtesten. Auch das Kurzzeitgedächtnis läuft jetzt auf Hochtouren, beste Voraussetzungen also für Prüfungen und Bewerbungsgespräche.

Zwischen 12 und 14 Uhr produziert der Magen am meisten Säure. So fällt es nicht weiter schwer, das Mittagessen zu verdauen. Dabei verbraucht der Magen so viel Energie, dass der restliche Körper ermüdet.



09



10

Aber auch ohne etwas zu essen, hat der Mensch *am Mittag* ein Leistungstief. *Am frühen Nachmittag* geht es wieder bergauf mit Körper und Geist. Dafür ist das Schmerzempfinden auf seinem Tiefpunkt. Empfindliche Patienten sollten daher ihren Zahnarzttermin nicht morgens, sondern *gegen 15 Uhr* wahrnehmen.

Wer *zwischen 16 und 17 Uhr* Sport treibt, ist besonders leistungsfähig. Diese Zeit ist ideal für Muskelaufbau und Konditionstraining. Das Bier danach baut der Körper *zwischen 18 und 20 Uhr* am besten ab. Zu diesem Zeitpunkt leistet die Leber Toparbeit, Alkohol wird gut vertragen.

Wenn es dunkel wird, ermüdet der Mensch. *Um 3 Uhr nachts* erreicht sein Organismus das absolute Tief. Die Statistik erfasst für diesen Zeitpunkt übrigens die meisten natürlichen Sterbefälle.

Rhythmus ist genetisch bedingt

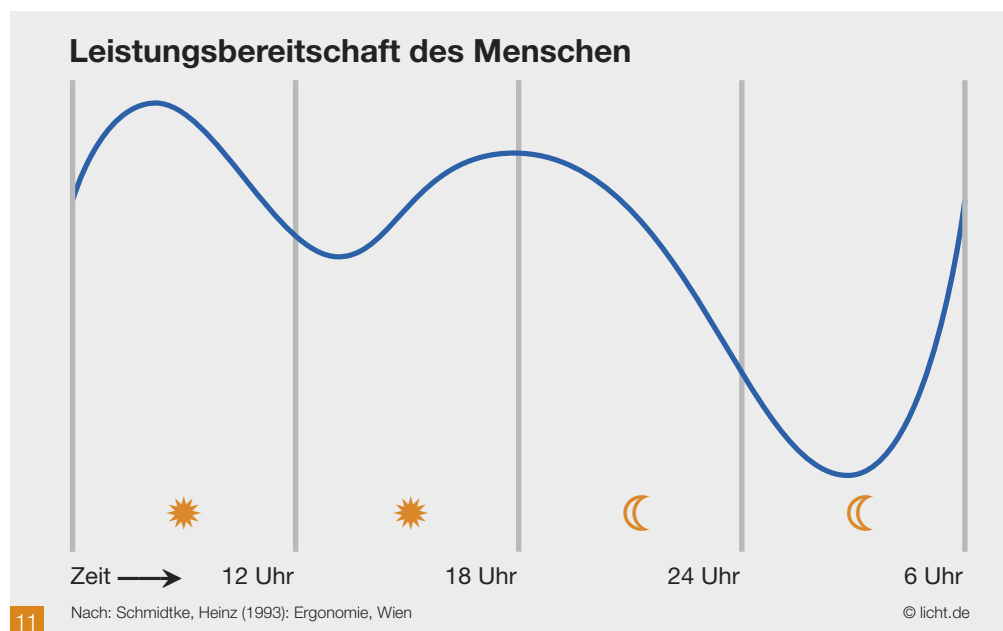
Der Mensch hat den Rhythmus von Tag und Nacht verinnerlicht. Die Fähigkeit, den Körper auf die Tageszeit einzustellen, ist im Erbgut verankert. Versuche mit Testpersonen in Isolierkammern haben bewiesen, dass regelmäßige Schlaf- und Wachphasen auch dann eingehalten werden, wenn sie nicht durch Tageslicht stimuliert werden. Allerdings

beträgt der genetisch vorgegebene Rhythmus des Menschen in der Regel etwas mehr als 24 Stunden (siehe dazu auch Grafik Seite 17). Einige folgen einem Zyklus von unter 24 Stunden, andere liegen deutlich darüber. Entsprechend lassen sich Menschen in sogenannte Chronotypen einteilen.

Chronotypen: Von „Eulen“ und „Lerchen“
Chronotypen sind vor allem an ihren Schlafgewohnheiten zu erkennen. Für viele Men-

[07 – 10] Der Mensch hat den Rhythmus von Tag und Nacht verinnerlicht: Schlaf- und Wachphasen wechseln sich ab, aber auch sämtliche Körperfunktionen folgen eigenen Rhythmen – mit individuellen Hoch- und Tiefpunkten zu bestimmten Tageszeiten.

[11] Leistungskurve des Menschen im Tagesverlauf: Morgens gegen 10 Uhr sind Körper und Geist am effektivsten. Um 3 Uhr nachts erreicht der Organismus seinen Tiefpunkt.



11

schen gilt: Morgenstund' hat Gold im Mund. Die sogenannten „Lerchen“ sind schon frühmorgens hellwach. „Eulen“ dagegen brauchen einige Zeit, um sich mit dem neuen Tag anzufreunden. Ihre innere Uhr läuft deutlich langsamer als die anderer Menschen. Die innere Uhr der Lerchen hingegen ist zu schnell. Ihr Rhythmus ist oftmals schon nach 23 Stunden abgeschlossen, derjenige der Eulen manchmal erst nach 26 Stunden.

Verglichen mit dem Durchschnitt haben beide einen verschobenen Schlaf-Wach-Rhythmus. Den einen drängt seine innere Uhr zum frühen Aufstehen, während sie den anderen zum Morgenmuffel macht. Vor allem die Eulen erleben einen permanenten „sozialen Jetlag“, wenn sie frühmorgens aus der Nachtruhe gerissen werden, die für sie subjektiv noch lange nicht beendet ist. Ihr Organismus passt sich trotz ausgleichender externer Faktoren wie Arbeitszeiten oder Tageslicht nur schlecht an den kürzeren Rhythmus der Erdumdrehung an. Mit jedem Werktag häufen sie ein immer größeres Schlafdefizit an, das dann am Wochenende ausgeglichen werden muss.

Aber auch Frühaufsteher empfinden ihre innere Uhr als störend. Vor allem am Wochenende, wenn sie spät ins Bett gehen und dennoch am Morgen zur gewohnt frühen Zeit aufwachen. Ausgeprägte Chronotypen leiden oftmals auch gesundheitlich unter dem permanenten Konflikt mit ihrer biologischen Uhr; sie sind anfälliger für Erkrankungen.

Jahreszeitliche Unterschiede

Sommer und Winter beeinflussen die chronobiologischen Rhythmen des Menschen ebenfalls. Oftmals ist er im Winter weniger fit und kann sich nur schlecht konzentrieren. Zudem isst er mehr, so dass Körpergewicht und Blutzuckerspiegel steigen.

Darüber hinaus wirken sich die Jahreszeiten psychologisch aus. In Gegenden mit ausgeprägten Jahreszeiten sind die Menschen im Winter nervöser als im Sommer und meist auch schlechter gelaunt. Hier hilft ein täglicher, halbstündiger Spaziergang im Tageslicht. Unterstützend wirkt eine circadiane Beleuchtung.

Einige Menschen sind während der dunklen Jahreszeit jedoch nicht nur leicht getrübt Stimmung, sondern regelrecht depressiv. Sie leiden unter einer saisonal abhängigen Depression (Seasonal Affective Disorder = SAD; siehe dazu auch Seite 24ff.).

Rhythmus und Lebensalter

Wenn junge Eltern oft gestresst und müde sind, dann liegt das auch an der inneren Uhr ihres Nachwuchses. Denn Säuglinge und Kleinkinder bewegen sich noch in ultradianen Rhythmen, also Phasen von jeweils drei oder vier Stunden. Mit etwa zwei Jahren entwickeln Kinder dann schon ausgeprägte Schlaf-Wach-Phasen.

Im Teenageralter verändert sich das Schlafverhalten wieder deutlich: Denn mit Beginn der Pubertät tickt die innere Uhr zeitverzögert. Jugendliche werden abends später müde und schlafen morgens gerne länger, oft auch über acht Stunden hinaus. Zu Schulbeginn sind sie häufig noch nicht ganz fit und – im Gegensatz zu ihren Lehrern – im „sozialen Jetlag“. Mit etwa 20 Jahren reduziert sich das Schlafbedürfnis dann wieder auf gut sieben Stunden.

Mit Beginn des dreißigsten Lebensjahrs lässt die Schlafqualität kontinuierlich nach. Der Mensch schläft flacher und subjektiv schlechter, obwohl er früher und regelmäßiger ins Bett geht.

Diese Symptomatik verschärft sich, wenn das siebzigste Lebensjahr überschritten ist. Je älter der Mensch wird, desto weniger unterscheidet sein Körper zwischen Tag und Nacht. Das Schlafbedürfnis bleibt zwar gleich, doch koppelt sich der Schlaf-Wach-Rhythmus zunehmend vom äußeren Tag-Nacht-Wechsel ab. Der Schlafrhythmus wird unregelmäßig, kurze Schlafpausen am Tag sind keine Seltenheit. Eine Beleuchtung mit nicht-visuellen Wirkungen trägt dazu bei, den circadianen Rhythmus zu stabilisieren: So können ältere Menschen nachts besser schlafen und sind tagsüber aktiver.

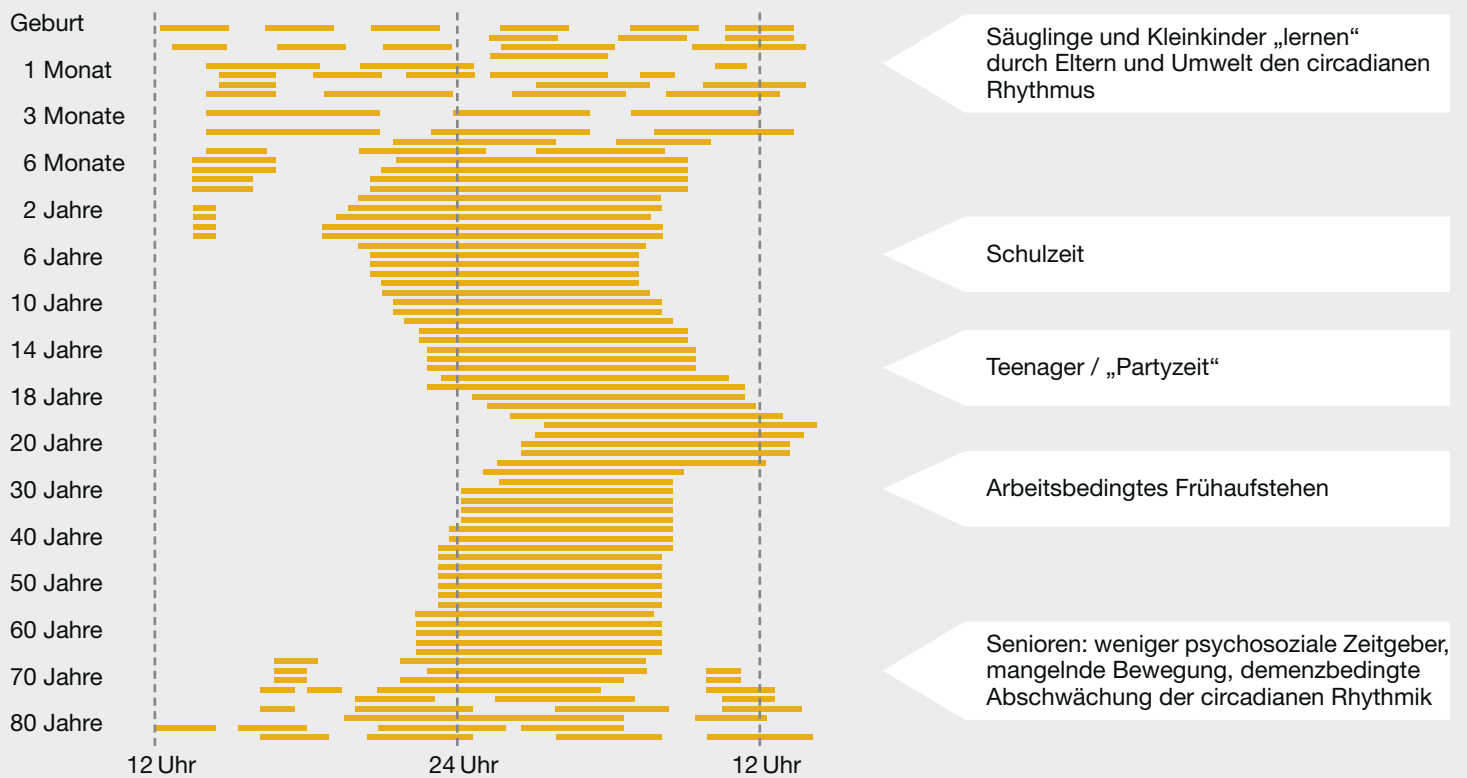
[12] Schlaf- und Wachrhythmen verändern sich im Laufe des Lebens.

[13] Von der Geburt bis zum Alter: Entwicklung und Synchronisierung des Schlafverhaltens durch Zeitgeber.



12

Entwicklung und Synchronisierung des Schlafverhaltens



13

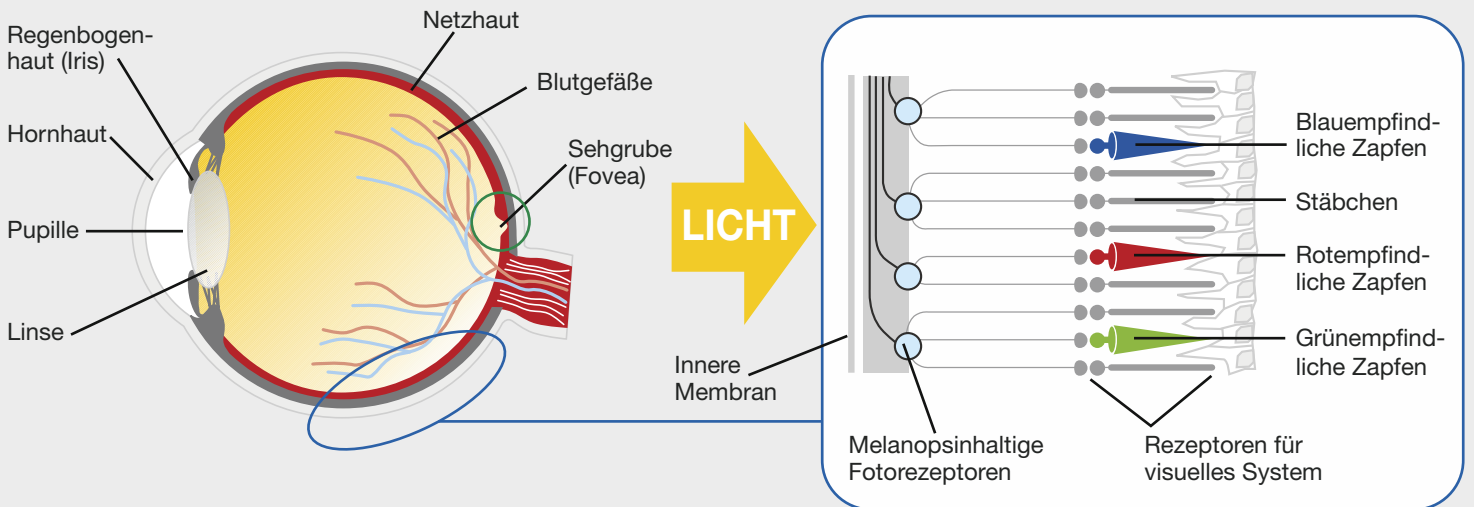
Nach: Prof. Dr. Jürgen Staedt, Prof. Dr. Dieter Riemann (2007): Diagnose und Therapie von Schlafstörungen, Stuttgart

© licht.de



14

Sensitive Ganglienzellen



○ Fotorezeptoren für das Farbsehen liegen vor allem in der Sehgrube (Fovea = Netzhautbereich für scharfes Sehen, $\varnothing \sim 1,5$ mm). Hier befinden sich etwa 60.000 Zapfen, aber keine Stäbchen.

○ Melanopsinhaltige Ganglienzellen sind über die ganze Netzhaut verteilt, im unteren und nasalen Teil haben sie eine höhere Empfindlichkeit.

15

Die innere Uhr

Jeder Mensch tickt anders. Dennoch ist er an Tag und Nacht gebunden. Viele Zellen erzeugen eine eigene Rhythmik im Konzert des Körpers, sind aber blind für die Außenwelt. Die „Master Clock“ dirigiert die inneren Uhren und synchronisiert sie mit ihrer Umwelt. Taktgeber ist das Licht.

Eltern kennen das Phänomen: Nach dem abendlichen Zähneputzen im Badezimmer sind die eigentlich müden Kinder wieder hellwach. Die Ursache für die plötzliche Munterkeit kann in den oft hohen Blauanteilen im Licht der Badezimmer-Beleuchtung liegen – und in einer kleinen Gruppe von lichtempfindlichen Sinneszellen im Auge, die der inneren Uhr deutliche Signale geben.

Die „Master Clock“ im Gehirn

Diese sogenannten retinalen Ganglienzellen liegen in den tiefen Schichten der Netzhaut und haben eine direkte Verbindung zum Gehirn: genauer gesagt, zum suprachiasmatischen Nucleus (SCN) des Hypothalamus, der hinter der Nasenwurzel sitzt. Der SCN ist der Mittler zwischen dem Lichtreiz und der körperlichen Reaktion darauf. Diese zentrale Schaltstelle, die „Master Clock“, synchronisiert präzise die vielen kleinen Uhren im Körper. Von hier aus nehmen die Botenstoffe ihren Lauf, die körpereigene Rhythmen takten und den Stoffwechsel an die Tageszeiten anpassen: So werden Enzyme aktiviert oder gehemmt, Hormone produziert oder blockiert.

Der SCN besteht aus zwei reiskorngroßen Gehirnkernen, die direkt über der Kreuzung der beiden Sehnerven sitzen. Sie bestehen jeweils aus einigen tausend Nervenzellen, deren Rhythmen durch das Tageslicht täglich aufs Neue getaktet werden.

Der dritte Lichtrezeptor

Lange war unklar, wie Menschen diese Lichtreize aufnehmen. 2002 identifizierten Wissenschaftler jedoch neben den bekannten Zapfen (für das Farbsehen) und Stäbchen (für das Dämmerungssehen) einen dritten Lichtrezeptor in der Netzhaut (Retina). Diese speziellen Ganglienzellen sind lichtempfindlich, dienen aber nicht dem Sehen. Sie registrieren ausschließlich die Helligkeit in der Umgebung und regulieren bei Lichteinfall biologische Prozesse im

Körper – wie den Pupillenreflex oder eben die innere Uhren.

Nur etwa ein bis drei Prozent der Ganglienzellen sind nicht-visuelle Fotorezeptoren. Forscher entdeckten in diesem Zellentypus das lichtempfindliche Protein Melanopsin – ein Farbpigment, das zum Beispiel auch dafür verantwortlich ist, dass Frösche ihre Hautfarbe der Umgebung anpassen können. Die melanopsinhaltigen Ganglienzellen sind zwar über die gesamte Netzhaut verteilt, reagieren aber besonders empfindlich im unteren und nasalen Bereich der Retina.

In Versuchen veränderten sich lichtunempfindliche Zellen von Mäusen zu lichtsensitiven, nachdem sie mit menschlichem Melanopsin geimpft wurden. Am empfindlichsten reagierten sie auf das blaue Licht des sichtbaren Spektrums.

Beim Menschen haben Wissenschaftler den neuen Fotorezeptor daraufhin zunächst indirekt nachgewiesen: Sie bestrahlten Testpersonen nachts für eineinhalb Stunden mit monochromatischem Licht verschiedener Wellenlängen und beobachteten die Konzentration des als Schlafhormon bekannten Melatonins in deren Blut. Ein Vergleich der Werte bei der Exposition mit unterschiedlichen Lichtfarben zeigte, dass blaues Licht mit einer Wellenlänge von etwa 480 Nanometer die Produktion von Melatonin in der Nacht unterdrückt.

Das Protein Melanopsin

Die fotosensitiven Ganglienzellen versorgen folglich den SCN mit Informationen über Lichtreize und sorgen auf diesem Weg dafür, dass die Bildung von Melatonin gebremst wird.

Dabei spielt das Melanopsin in den Fotorezeptoren des Menschen eine wesentliche Rolle. Es reagiert besonders empfindlich auf blaues Licht – und verhindert damit zu-

[14] Der Mensch synchronisiert seine innere Uhr immer wieder mit der Außenwelt. Natürlicher Taktgeber ist das Tageslicht.

[15] 2002 entdeckten Wissenschaftler spezielle Ganglienzellen auf der Netzhaut, die nicht dem Sehen dienen. Sie sind im nasalen und unteren Bereich der Netzhaut besonders empfindlich. Die Zapfen und Stäbchen sind für das Sehen verantwortlich.

verlässig, dass am Tag Melatonin ausgeschüttet wird.

Licht taktet die innere Uhr

Licht ist also der entscheidende Taktgeber für die innere Uhr des Menschen. Über den retinohypothalamischen Trakt sind die Ganglienzellen direkt mit der Zirbeldrüse (Epiphyse), dem SCN und dem Hypothalamus verbunden. Dieser ist das wohl wichtigste Steuerzentrum des vegetativen Nervensystems.

Abends produziert die Epiphyse Melatonin. Es sorgt dafür, dass der Mensch ermüdet. Morgens sinkt der Melatonin-Spiegel wieder. Das erste Sonnenlicht unterstützt den genetisch festgelegten Rhythmus, indem es die Produktion des Hormons zusätzlich hemmt.

Hormone: Botenstoffe der inneren Uhr

Verdauung, Stimmung oder Schlaf: Der Mensch ist von komplizierten biochemischen Prozessen bestimmt. Wann das Essen gut bekömmlich ist, die Leistungsfähigkeit am höchsten und der Schlaf am tiefsten sind, regeln die Hormone. Vor allem Melatonin und Cortisol bestimmen den

circadianen Rhythmus, denn sie wirken im Körper entgegengesetzt. Auch der „Stimmungsaufheller“ Serotonin ist für diesen Prozess biochemisch unerlässlich.

Melatonin

Melatonin macht müde, entschleunigt die Körperfunktionen und senkt die Aktivität zugunsten der verdienten Nachtruhe. Es sorgt zudem dafür, dass viele Stoffwechselforgänge zurückgefahren werden. Die Körpertemperatur sinkt, der Organismus läuft sozusagen auf Sparflamme. In dieser Phase schüttet der Körper Wachstumshormone aus, die nachts die Zellen reparieren.

Cortisol

Cortisol dagegen ist ein Stresshormon, das etwa ab drei Uhr morgens in der Nebennierenrinde produziert wird. Es regt den Stoffwechsel wieder an und programmiert den Körper auf Tagesbetrieb. Das erste Morgenlicht reizt dann den dritten Rezeptor im Auge und unterdrückt die Produktion von Melatonin in der Hypophyse (Hirnanhangdrüse). Gleichzeitig sorgt die Hypophyse dafür, dass der Körper verstärkt Serotonin ausschüttet.

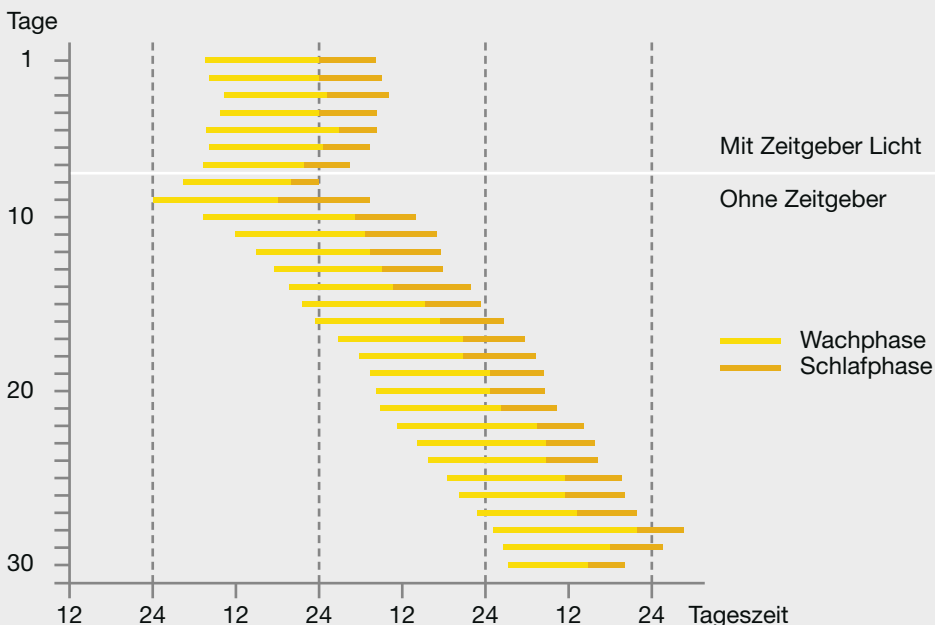
Serotonin

Serotonin wirkt stimmungsaufhellend und motivierend. Während der Cortisolspiegel im Blut über den Tag abfällt und sich dabei antizyklisch zum Melatoninspiegel verhält, verhilft das Serotonin dem Menschen zu mehreren Leistungshochs. Bei einbrechender Dunkelheit schaltet die innere Uhr wieder auf Nachtbetrieb.

Erhält der Körper tagsüber zu wenig Licht, wird auch der Melatoninspiegel niedrig ausfallen. Die Folgen: Der Mensch schläft schlecht, fühlt sich unausgeruht, ist tagsüber müde und antriebslos. Mit Beginn der dunkleren Wintermonate kann sich dieser Prozess verstärken. Einige Menschen entwickeln in dieser Zeit eine saisonal abhängige Depression (SAD). Ihre innere Uhr gerät aus dem Takt, weil das hormonelle Gleichgewicht im Gehirn gestört ist.

In Innenräumen kann eine Beleuchtung mit nicht-visuellen Effekten die Wirkung von natürlichem Tageslicht unterstützen. Sie trägt gerade in der modernen Rund-um-die-Uhr-Gesellschaft nachhaltig dazu bei, den circadianen Rhythmus des Menschen zu stabilisieren.

Licht als Zeitgeber



[16] Stäbchen und Zapfen übertragen den optischen Reiz via Sehnerv ins Sehzentrum des Gehirns (grüner Pfad). Die Ganglienzellen des dritten Lichtrezeptors sind dagegen über den retinohypothalamischen Trakt mit dem oberen Zervikalganglion im Rückenmark und dem SCN verbunden (blauer Pfad). Über Zirbeldrüse und Hormonhaushalt synchronisiert der SCN den Körper mit der Außenwelt.

[17] Cortisol und Melatonin wirken antizyklisch: Morgens produziert der Körper Cortisol. Gegen 9 Uhr ist es im Blut maximal konzentriert, fällt über den Tag dann kontinuierlich ab. Die Melatoninproduktion setzt erst am Abend wieder ein. Um 3 Uhr nachts ist der Melatoninspiegel am höchsten.

[18] Licht synchronisiert die innere Uhr. Ohne den Zeitgeber Licht stellt sich die genetisch vorgegebene Periodenlänge ein; der Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen verschiebt sich gegenüber dem äußeren Tagesverlauf. Die Grafik zeigt das Verhalten des häufigen Spättyps der „Eule“ mit einer genetisch vorgegebenen Periodenlänge von 25 Stunden.



19



20



21



22

Melanopische Lichtwirkungen

In der Natur, zu Hause oder am Arbeitsplatz: Licht ist für den Menschen unverzichtbar. Doch nicht immer steht ausreichendes Tageslicht zur Verfügung. Eine melanopisch wirksame Beleuchtung hilft, den Organismus mit seiner Umwelt zu synchronisieren.

Der moderne Mensch in den entwickelten Industriegesellschaften hält sich überwiegend in Innenräumen mit künstlicher Beleuchtung auf und entfernt sich immer mehr von seinen natürlichen Rhythmen. Viele arbeiten im Schichtbetrieb oder in fensterlosen Gebäuden. Helligkeit und Dynamik des Tageslichts verlieren damit ebenso an Bedeutung wie die Dunkelheit der Nacht. Während die Beleuchtungsstärken im Freien selbst an einem bewölkten Tag noch mehrere Tausend Lux erreichen, ist das Niveau der künstlichen Beleuchtung am Arbeitsplatz deutlich geringer als bei natürlichem Tageslicht.

Das hat Folgen: Zu wenig Licht am Tag kann dazu führen, dass sich die innere Uhr des Menschen verschiebt oder seine Schlaf- und Wachphasen weniger stark ausgeprägt sind. Beides wirkt sich negativ auf den chronobiologischen Rhythmus aus und kann die Gesundheit beeinträchtigen.

Vorbild ist das Tageslicht

Das Tageslicht gibt die Faktoren einer biologisch wirksamen Beleuchtung vor:

- Beleuchtungsstärke,
- Flächigkeit,
- Lichtrichtung,

- Farbtemperatur und
- die Dynamik des Lichts im Tages- und Jahreszeitenverlauf.

Dabei hängt die Helligkeit des Tageslichts stark von der geografischen Lage, Wetter, Jahres- und Tageszeit ab. In Mitteleuropa könnten die meisten Räume zwar von etwa 8 bis 17 Uhr mit natürlichem Licht beleuchtet werden. Doch meist reicht das durch die Fenster einfallende Tageslicht in der Raumtiefe nicht aus.

Beleuchtung mit nicht-visuellen Wirkungen

Eine Beleuchtung mit nicht-visueller Wirkung kann das natürliche Tageslicht sowohl technisch als auch aus energetischen Gründen nicht exakt kopieren, aber wichtige Impulse geben. So zeigen Untersuchungen zum Beispiel, dass bereits Beleuchtungsstärken zwischen 500 und 1.500 Lux am Arbeitsplatz biologisch wirksam sein können.

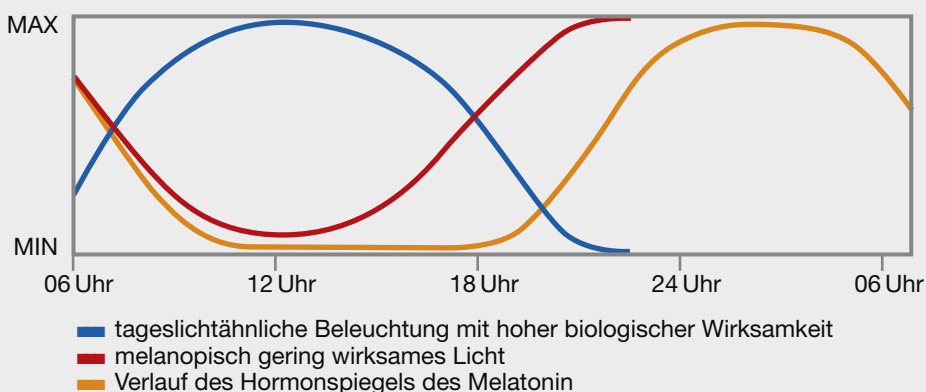
Eine melanopisch wirksame Beleuchtung kann zugeschaltet oder – abhängig vom Tageslichteinfall – automatisch stufenlos hinzugeregelt werden. Die Nutzung von Tageslicht erhöht die Beleuchtungsqualität,

stärkt das Wohlbefinden und optimiert den Energieeinsatz.

Damit das Licht die besonders sensiblen Fotorezeptoren im unteren und nasalen Bereich der Netzhaut gut erreichen kann, muss es – ähnlich dem Tageslicht – großflächig aus dem oberen Halbraum ins Auge fallen. Eine entscheidende Rolle spielt weiterhin die Farbtemperatur: Sie sollte am Tag dem natürlichen Licht mit hohen Blauanteilen ähneln.

Beim Einsatz künstlicher Beleuchtung mit nicht-visuellen Wirkungen gilt weiterhin: das richtige Licht zur richtigen Zeit. Denn die melanopische Wirkung ist nach vorangegangener Dunkelheit besonders groß, insbesondere am Morgen. Neben der langfristig wirkenden Tagessynchronisation kann melanopisch wirksames Licht auch zur Aktivierung eingesetzt werden: In diesem Fall werden zum Beispiel zur Mittagszeit oder am frühen Nachmittag die Beleuchtungsstärke und die Farbtemperatur für kurze Zeit erhöht. Am Abend ist eine Aktivierung nicht erwünscht; warme Lichtfarben und reduzierte Beleuchtungsstärken stimmen den Körper auf die Nachtruhe ein.

Circadiane Beleuchtung



[19] Licht aktiviert und beeinflusst unsere Stimmung.

[20 – 22] Ähnlich dem Tageslicht verändert sich auch eine melanopisch wirksame Beleuchtung im Tagesverlauf: Kühlweiße Lichtfarben und hohe Beleuchtungsstärken aktivieren am Morgen. Das Licht verändert sich dynamisch und bietet am Abend warme Lichtfarben und eine reduzierte Helligkeit.

[23] Eine tageslichtähnliche Beleuchtung mit nicht-visueller Wirkung ist nur tagsüber sinnvoll (blaue Kurve). In der Nacht, in den Abend- und frühen Morgenstunden ist dagegen biologisch nur gering wirksames Licht richtig. So werden biologische Abläufe im Körper, wie zum Beispiel der abendliche Anstieg des Hormons Melatonin (orange), nicht gestört.

Biologisch wirksames Licht in Innenräumen

Eine Beleuchtung mit melanopischer Wirkung orientiert sich am Vorbild des natürlichen Tageslichts. Moderne Lichtquellen sorgen für das gewünschte Spektrum, Leuchten für die richtige Verteilung des Lichts, und eine intelligente Steuerung bringt Dynamik in die Beleuchtung.

Eine biologisch wirksame Beleuchtung sollte auf den circadianen Rhythmus des Anwenders abgestimmt sein. Sie muss aktive Zeiten und Ruhephasen sinnvoll unterstützen. Anwendungen mit nicht-visuellen Lichtwirkungen bringen die Dynamik des Tageslichts mit wechselnden Beleuchtungsstärken und Lichtfarben in Innenräume und ersetzen zunehmend statische Lichtlösungen.

Chronobiologen raten dazu, der Gesundheit zuliebe täglich mindestens eine halbe Stunde im Freien zu verbringen. Und auch bei der Beleuchtung in Innenräumen gilt: Je mehr Tageslicht genutzt werden kann, desto besser. Ideal ist es, wenn durch Fensterflächen, Oberlichter und Tageslichtsysteme ein Maximum an natürlichem Tageslicht in Innenräume gebracht werden kann. Kombiniert mit einer melanopisch wirksamen künstlichen Beleuchtung, werden Lebensqualität und Wohlbefinden des Menschen so deutlich gestärkt: Tagsüber ist er leistungsfähiger und konzentrierter, in der Nacht kann er besser schlafen und regenerieren.

Aktivierend: Helles Licht mit hohen Blauanteilen

Biologisch gesehen, wirkt tageslichtähnliches Licht mit hohen Blauanteilen sehr viel stärker als warmes Licht mit mehr Rotanteilen. Besonders wirksam ist Licht mit einer Wellenlänge von etwa 480 Nanometer. In Kombination mit hohen Beleuchtungsstärken wirkt dieses kühlblaue Tageslichtweiß aktivierend und konzentrationsfördernd: Es stimuliert die Rezeptoren im Auge und damit das Steuerzentrum unseres Gehirns.

Verteilung und spektrale Empfindlichkeit des dritten Rezeptors auf der Netzhaut zeigen, wie perfekt sich das Auge an die natürlichen Bedingungen angepasst hat: Die sensiblen melanopsinhaltenen Ganglienzellen sind im hinteren und unteren Bereich des Auges angeordnet (siehe Grafik 15, Seite 14 und

Grafik 27, Seite 21). So können diese Fotorezeptoren das Himmelslicht, das ähnlich einer großen Kuppel aus dem oberen Halbraum auf das Auge trifft, optimal aufnehmen. Nach diesem Vorbild muss auch künstliche Beleuchtung das Licht lenken, wenn sie biologisch wirken soll.

Untersuchungen haben gezeigt, dass der Rezeptor einen Sättigungszustand erreichen kann. Es genügt also nicht, eine Lichtquelle mit punktförmiger Lichtaustrittsfläche und hohem Blauanteil zu verwenden, um eine circadiane Wirkung zu erzielen. Vielmehr müssen möglichst viele Rezeptoren im Auge gleichzeitig angesprochen werden. Dies gelingt zum Beispiel mit entsprechend großflächigen Leuchten.

Der Effekt verstärkt sich, wenn Raumbegrenzungsflächen – wie der obere Teil einer Wand und die Decke – als große Sekundärreflektoren genutzt werden. Dazu eignen sich Leuchten, die ihr Licht direkt und indirekt abstrahlen. Möglich sind auch Wand- und Deckenfluter, die ihr Licht ausschließlich indirekt verteilen.

Das richtige Licht zur richtigen Zeit

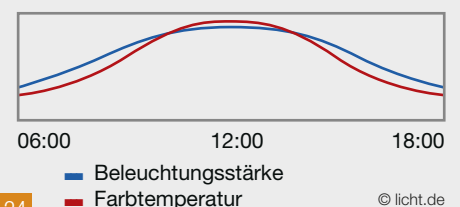
Eine Beleuchtung mit nicht-visuellen Effekten kann in zwei Varianten biologische Prozesse beeinflussen. Variante eins (Lichtkonzept A) vermittelt auch bei unzureichendem Tageslicht ein Gefühl des Tag-Nacht-Wechsels: Beleuchtungsstärke und die Blauanteile im Licht steigen bis zur Mittagszeit kontinuierlich an und nehmen dann langsam bis zum Abend wieder ab.

[25] Großflächige Leuchten lenken ihr Licht biologisch wirksam ins Auge. Reflektieren helle Decken und die oberen Wandbereiche das Licht, unterstützt dies den aktivierenden Effekt.

[26] Aktionsspektrum der Melatonin-suppression $[S_{mel}(\lambda)]$ im Vergleich zur Hellempfindlichkeit des Auges beim Tagsehen $[v(\lambda)]$: Biologisch am wirksamsten ist Licht mit einer Wellenlänge um 480 Nanometer.

[27] Die Ganglienzellen des dritten Lichtrezeptors sind im nasalen und unteren Bereich der Netzhaut am empfindlichsten. Damit hat sich das Auge an die natürlichen Lichtverhältnisse angepasst, denn Tageslicht erreicht das Auge aus dem oberen Halbraum.

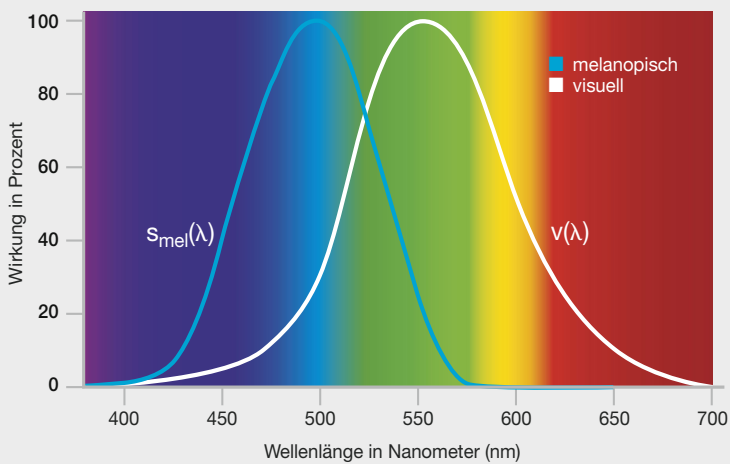
Lichtkonzept A: Tagessynchronisation





25

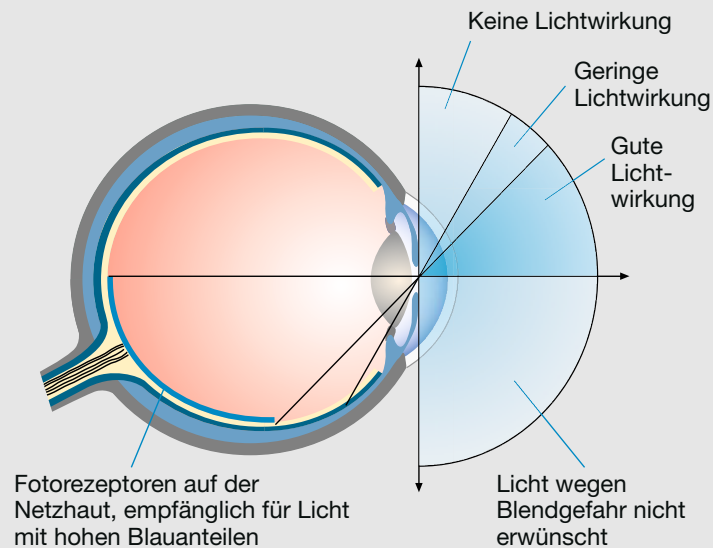
Spektrale Wirkungsfunktionen



© licht.de

26

Ansprache der Fotorezeptoren

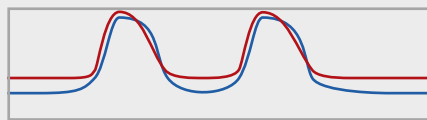


© licht.de

27

Als zweite Variante (Lichtkonzept B) können „Lichtduschen“ eingesetzt werden, um auch kurzfristig zu aktivieren und die Konzentration zu fördern. Studien haben gezeigt, dass dieses aktivierende Licht positive Ergebnisse in Schulen erzielt. Da die Beleuchtungsstärke nur temporär mit hoher Leistung gefahren wird, ist diese Lösung sehr energieeffizient (siehe auch Seite 32f.).

Lichtkonzept B: Aktivierung



— Beleuchtungsstärke
— Farbtemperatur

28

© licht.de

Für beide Konzepte gilt: Eine aktivierende Lichtwirkung ist nur am Tag sinnvoll, damit die wertvolle Nachtruhe nicht gestört wird. Abends ist es deshalb sinnvoll, warme Lichtfarben (bis 3.300 Kelvin) in Kombina-

tion mit niedrigen Beleuchtungsstärken einzusetzen. Wichtig ist dann auch der Einsatz von gerichtetem Licht, das die melanopsinhalten Fotorezeptoren im Auge möglichst wenig stimuliert. Mit der Auswahl der richtigen Leuchten und Lichtquellen lässt sich das Licht je nach Tageszeit regeln.

Geeignete Leuchten und Lichtquellen

Die Lichtindustrie stellt heute zahlreiche Leuchten bereit, die unterschiedliche Lichtfarben kombinieren und sowohl direkt strahlendes als auch indirekt strahlendes Licht abgeben. So können Farbtemperatur und Lichteinfall im Tagesverlauf variiert werden. Eine gute Alternative ist die Nutzung unterschiedlicher Leuchten: Sinnvoll ist zum Beispiel eine Kombination aus Lichtdecken, die tagsüber kühlweißes Licht großflächig in den Raum streuen, und Strahlern oder Arbeitsplatzleuchten mit gerichtetem Licht, die in den Abendstunden eine nicht aktivierende Beleuchtung zur Verfügung stellen.



29



30

Ein erhöhter Blauanteil, der für die Ansprache des dritten Lichtrezeptors erwünscht ist, konnte technisch zunächst nur Leuchtstofflampen beigemischt werden. Inzwischen wurden auch andere Lichtquellen in ihrer biologischen Wirkung optimiert.

Besonders flexibel sind Licht emittierende Dioden (LEDs). Schon eine einzige LED-Leuchte kann – ausgestattet mit einem entsprechenden Modul – unterschiedliche Weißtöne zur Verfügung stellen. LED-Beleuchtung mit farbdynamischer Steuerung ermöglicht damit auf ebenso einfache wie effiziente Weise den Wechsel von konzentrationsfördernder Beleuchtung zu beruhigend-sanftem Licht. So können biologische und visuelle Wirkung individuell abgestimmt und variiert werden.

Häufig werden auch unterschiedliche Lichtquellen kombiniert. Für eine dynamische Beleuchtung sorgen dann zum Beispiel warmweiße Leuchtstofflampen in Kombination mit tageslichtweißen LEDs.

Lichtsteuerung für die Dynamik

Im Laufe eines Tages variiert eine biologisch wirksame Beleuchtung nicht nur die Farbtemperatur von warmweiß bis tageslichtweiß. Auch die Beleuchtungsstärke passt sich mit 500 bis 1.500 Lux dem circadianen Rhythmus des Menschen an und setzt je nach Tageszeit die richtigen Impulse.

Für die erforderliche Dynamik in der Beleuchtung sorgen Lichtmanagementsysteme. Die Ansteuerung der einzelnen Leuchten erfolgt harmonisch und stufenlos, so dass die Veränderung nicht unmittelbar wahrgenommen wird – ihre biologische Wirkung aber nachhaltig entfalten kann. Im Idealfall lassen sich vorab programmierte Lichtszenen über leicht verständliche Bedienelemente oder eine Fernbedienung auch individuell anpassen.

Lichtmanagementsysteme können einfach in die übergeordnete Gebäudetechnik integriert werden. Ausgestattet mit Tageslicht- und Präsenzkontrolle, sparen sie im Zu-

sammenspiel mit modernen Leuchten und effizienten Lichtquellen viel Energie – und bieten mit visuellen, emotionalen und nicht-visuellen Effekten eine optimale Lichtqualität für den Menschen.

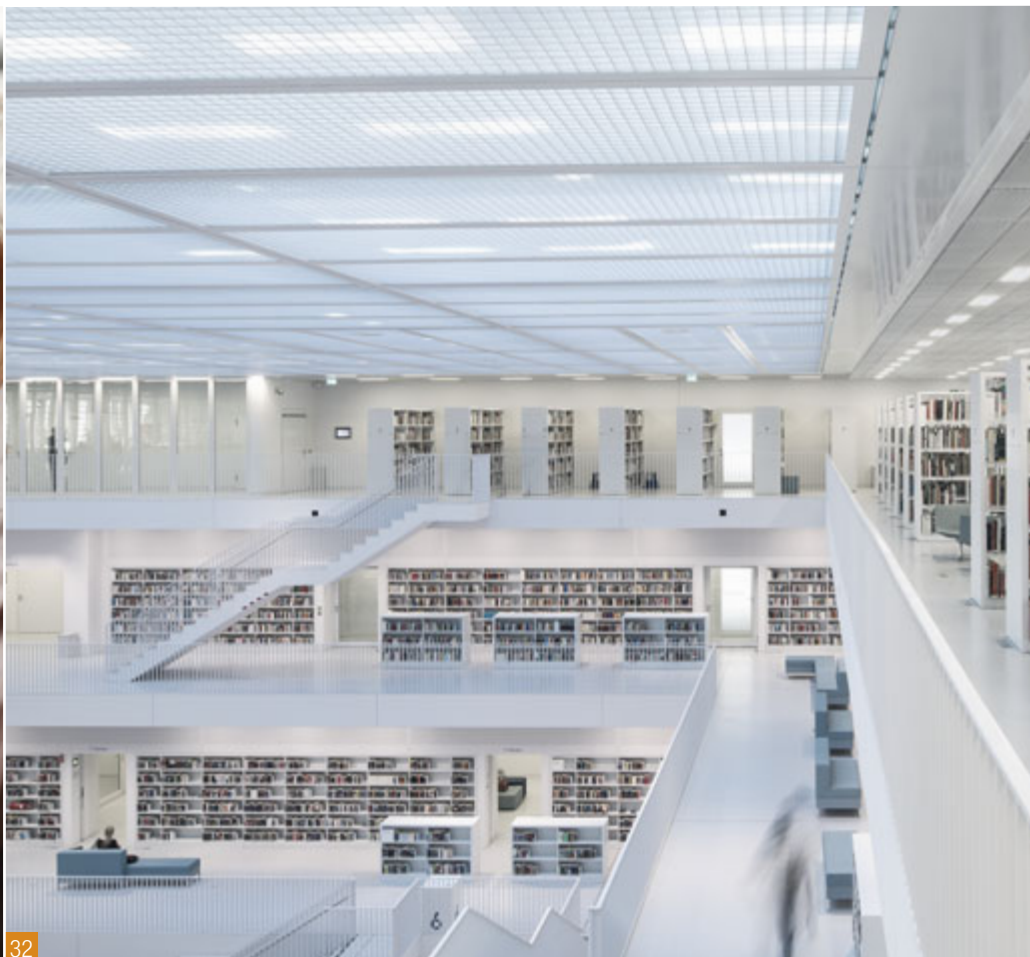
[29 + 30] Dynamische Beleuchtung für mehr Motivation: Morgens stimulieren hohe Beleuchtungsstärken und kühle Farbtemperaturen – abgestimmt auf das einfallende Tageslicht – die innere Uhr, gegen Abend bereitet gedimmtes, gerichtetes Licht auf die Nachtruhe vor.

[31] Ältere Menschen brauchen mehr Licht als ihre jüngeren Kollegen. Zusätzliches Licht spenden gut entblendete Schreibtischleuchten.

[32] In der dunklen Jahreszeit besonders wichtig: eine circadian wirksame Beleuchtung, die den schwächeren Tageslichtreiz unterstützt.



31



32

Lichttherapie

Biologisch wirksames Licht wird auch in der Medizin eingesetzt. Saisonal abhängige Depressionen (SAD), die in der dunklen Jahreszeit auftreten, werden mit Licht erfolgreich therapiert. Untersuchungen zeigen, dass die Lichttherapie auch gegen nicht saisonale Depressionen und andere Krankheiten wirkt.

Bäume verlieren ihre Blätter, Störche ziehen nach Süden, und Igel halten Winterschlaf. Nur der Mensch glaubt, den Jahreszeiten trotzen zu können. Ganz klar, ein von der Natur bestimmtes Leben passt nicht in unsere industrialisierte Welt. Kaum ein Arbeitgeber würde akzeptieren, wenn seine Mitarbeiter ihren biologischen Rhythmen folgend zur Arbeit erschienen. Also quälen sich viele Menschen mit auffallend schlechter Stimmung durch Herbst und Winter.

Saisonal abhängige Depression

Der Lichtmangel ist tatsächlich ein ernstes Problem: Fehlt ausreichend natürliches Licht, entwickeln fünf bis 20 Prozent der Gesamtbevölkerung regelrechte „Mangelercheinungen“. Symptome wie verstärktes Schlafbedürfnis, fehlende Antriebskraft, Stimmungsschwankungen und sogar Depressionen können sich in Wintermonaten zu einer saisonal abhängigen Depression (SAD) entwickeln, die therapiert werden muss.

US-amerikanische Wissenschaftler haben dieses Phänomen seit Anfang der 1980er-Jahre erforscht. SAD unterscheidet sich von anderen Formen der Depression vor allem dadurch, dass die Symptome mit länger werdenden Tagen im Frühling abklingen, im Herbst aber wieder auftreten.

Heißhunger durch Lichtmangel

Die Betroffenen leiden im Gegensatz zu anderen depressiven Patienten auch nicht an Schlaflosigkeit. Im Gegenteil, sie gehen früher ins Bett als im Sommer und haben dennoch Schwierigkeiten, aufzustehen. Auch Appetitlosigkeit – sonst eine typische Begleiterscheinung von Depressionen – ist ihnen fremd. Sie entwickeln sogar Heißhunger, vor allem auf Kohlenhydrate wie Schokolade, Kartoffelprodukte oder Brot.

Wissenschaftler gehen daher von mehreren Ursachen für SAD aus. Eine Fehlfunktion



[33] Beim Hausarzt, in der Klinik oder bequem zu Hause: Lichttherapiegeräte beugen wirksam und unkompliziert einer saisonal abhängigen Depression vor.



der Lichtrezeptoren auf der Netzhaut kann dafür ebenso in Frage kommen wie ein nur unzureichend ausgeprägter Schlaf-Wach-Rhythmus.

Wahrscheinlich ist, dass sich SAD-Patienten individuell schlechter an die kürzeren Wintertage anpassen. Dies wiederum bringt ihre innere Uhr aus dem Takt. Auch ein Mangel der absoluten Menge an Licht wird diskutiert. Dafür spricht die Tatsache, dass in Alaska jeder dritte Erwachsene von SAD betroffen ist, in Florida dagegen nur einer von 25.

Eine vergleichende repräsentative Umfrage führender Chronobiologen in den USA und der Schweiz kommt dennoch zu einem anderen Ergebnis. Danach litten 1999 prozentual deutlich mehr Amerikaner an einer schwächer ausgeprägten SAD als Eidgenossen – trotz vergleichbaren Wetters. Die Studie stellt fest, dass SAD nicht von der Sonnenscheindauer abhängt, sondern vom individuellen Lichtverhalten. Denn um das innere Schwungrad in Bewegung zu halten, tut es auch in der dunklen Jahreszeit gut, sich tagsüber ausreichend lange im Freien zu bewegen.

Therapiegeräte mit Tageslichtspektrum
Für Menschen, die nicht genügend Tages-

licht bekommen, sind Lichttherapiegeräte eine echte Alternative. Kleinere Geräte gibt es auch für den häuslichen Gebrauch oder für das Büro. Sie unterscheiden sich von den professionellen Geräten in Kliniken oder Arztpraxen hauptsächlich durch die Größe der leuchtenden Fläche. Klinikgeräte sind am größten. Drei bis vier Patienten können damit gleichzeitig behandelt werden. Geräte für daheim sind hingegen nur für eine Person ausgelegt.

Ein Betriebsstundenzähler überwacht die Lampen. Sie büßen nach 8.000 Stunden etwa 20 Prozent ihres Lichtstroms ein und sollten dann ausgewechselt werden. Der spezielle Abstrahlungswinkel von Lichttherapiegeräten berücksichtigt die Geometrie des Auges, denn die melanopsinhaltenen Ganglienzellen (siehe Grafiken Seite 14 und 21) sind großflächig auf der Netzhaut verteilt und im unteren nasalen Bereich am sensibelsten. Je mehr Rezeptoren angesprochen werden, desto erfolgreicher ist die Behandlung.

Auch sind die menschlichen Pupillen unterschiedlich weit geöffnet. Dadurch wird die Netzhaut bei gleicher Leuchtdichte unregelmäßig bestrahlt. Schließlich trübt sich die menschliche Linse mit zunehmendem Alter ein, das Auge wird undurchlässiger für

Licht. Therapiegeräte müssen daher ausreichend hell sein.

Technische Anforderungen an Lichttherapiegeräte

Therapeutische Lichtquellen sollten eine Leuchtdichte von etwa 8.000 Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) haben. Die Leuchtdichte ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat. Nach wissenschaftlichen Erkenntnissen sollte sie 10.000 cd/m^2 nicht überschreiten.

Die leuchtende Fläche der Therapiegeräte sollte möglichst groß und die Helligkeit auf der leuchtenden Fläche möglichst gleichmäßig verteilt sein.

Therapiegeräte strahlen ihr Licht in großem Winkel ab, damit sich der Patient in einem relativ weiten Bereich vor der Leuchte bewegen kann. Die Beleuchtungsstärke beträgt bis zu 10.000 Lux, je nach Abstand zum Gerät. Als therapeutisch wirksam gilt Licht ab einer Stärke von etwa 2.000 Lux. Die Farbtemperatur beträgt circa 6.500 Kelvin und entspricht damit dem Tageslicht um zwölf Uhr mittags.

Besonders intensiv strahlt das Licht im kurzwelligeren blauen Bereich. Spezielle

[34 + 37] Lichttherapiegeräte können einfach auch im Büro oder am Industriearbeitsplatz genutzt werden.

[35] Leuchtdichteverteilung eines Lichttherapiegerätes mit Leuchtstofflampen \varnothing 26 mm

[36] Spektrum eines Lichttherapiegerätes: Die Lichtfarbe ähnelt dem Tageslicht.



Glasscheiben filtern schädigendes ultraviolettes Licht komplett aus dem Spektrum heraus. In keinem Fall können und sollen Lichttherapiegeräte die Haut bräunen.

Lichttherapie unterdrückt Schlafhormon

Lichttherapie wirkt nach heutigen medizinischen Erkenntnissen ausschließlich über das Auge. Fällt Tageslicht auf die Netzhaut, produziert die Hypophyse im Zwischenhirn Hormone und Botenstoffe wie Serotonin. Als Neurotransmitter ist zu wenig Serotonin oftmals Ursache für Depressionen, denn es ist für die Informationsübermittlung zwischen den Gehirnzellen verantwortlich. Nur wenn Serotonin ausreichend vorhanden ist, funktionieren Vitalfunktionen und Denkprozesse. Sie wiederum wirken sich auf die Psyche aus.

Serotonin hebt die Stimmung auf, steigert das Wohlbefinden und motiviert. Damit der Körper verstärkt Serotonin ausschütten kann, bilden Lichttherapiegeräte Intensität und Farbtemperatur des Tageslichts nach. Zudem produzieren sie kurzwelliges Licht im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums, das die Ganglienzellen des dritten Fotorezeptors auf der Netzhaut reizt. Diese hemmen daraufhin die Produktion des Hormons Melatonin. Tagsüber ist der Organismus dadurch wach und leistungsfähig,

nachts schläft der Mensch besser. So stabilisiert das Licht den circadianen Rhythmus des Menschen. Um diesen Effekt zu erreichen, genügt das künstliche Licht am Arbeitsplatz in der Regel nicht.

Licht ist morgens am effektivsten

Empfehlenswert ist eine Lichttherapie am Morgen, um der inneren Uhr eindeutig mitzuteilen, dass der Tag begonnen hat und sie den Körper in Schwung bringen soll. Aus dem gleichen Grund ist sie am Abend wenig sinnvoll, da die Melatoninproduktion unterdrückt und somit das Einschlafen erschwert wird.

Frequenz und Dauer der Therapie sind variabel. Der Arzt legt sie im Gespräch mit seinem Patienten individuell fest, abhängig davon, wie ausgeprägt die Symptome sind. In den meisten Fällen tritt eine heilende Wirkung bereits nach ein bis zwei Wochen ein.

Patienten, die regelmäßig an SAD leiden, setzen die Lichttherapie erfolgreich auch vorbeugend ein. Ernste Nebenwirkungen sind bisher nicht bekannt. Gelegentliche Beschwerden wie Augenreizungen, Kopfschmerzen und trockene Haut gehen nach wenigen Stunden zurück. Generell sollte vor einer Lichttherapie aber der Augenarzt

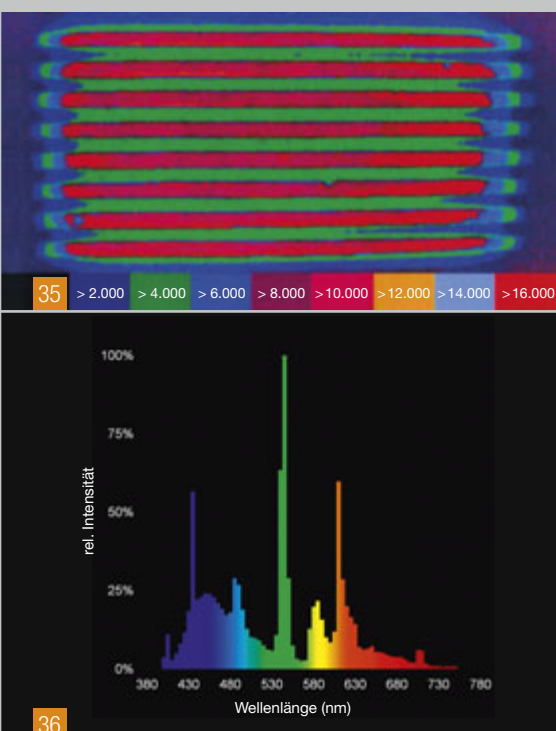
konsultiert werden, denn bei bestimmten Erkrankungen des Auges ist Vorsicht geboten.

Lichttherapie mit großem Potenzial

Die Lichttherapie wird in jüngster Zeit vielfältig eingesetzt. Vereinzelt werden auch Parkinson- und Alzheimerpatienten mit dem biologisch wirksamen Licht bestrahlt. Gesicherte Erkenntnisse liegen hierzu aber nicht vor.

Untersuchungen zeigen, dass zum Beispiel prämenstruelle Beschwerden erfolgreich therapiert werden können, vor allem die emotionalen Begleiterscheinungen. Auch gibt es Anzeichen dafür, dass bulimische Essattacken behandelt werden können, insbesondere bei saisonal bedingter Bulimie.

Die Ansätze zu therapeutischen Behandlungen mit Licht sind vielversprechend. Sicher ist aber schon jetzt, dass Lichttherapie ein natürliches Antidepressivum gegen den „Winterblues“ ist, wie die schwächere Form von SAD auch genannt wird.





DIN SPEC 67600: Hinweise zur Lichtplanung

Professionelle Beleuchtungskonzepte sind heute in der Lage, biologisch wirksames Licht in Innenräume zu bringen. Damit das Licht tatsächlich melanopisch wirkt und zugleich komfortables Sehen ermöglicht, müssen Lichtplaner einige Faktoren beachten. Empfehlungen für die Planung gibt DIN SPEC 67600.

Gutes Licht unterstützt den Menschen bei seinen täglichen Aufgaben. Ob am Schreibtisch, an der Maschine oder im Operationssaal: Licht muss den Arbeitsbereich optimal ausleuchten und ein ermüdungsfreies Arbeiten ermöglichen. Auch eine biologisch wirksame Beleuchtung muss allen visuellen Qualitätsansprüchen genügen.

Generelle Gütemerkmale

Eine gute Beleuchtungsanlage stimmt die Beleuchtungsstärken auf die jeweiligen Sehaufgaben ab und verteilt die Leuchtdichte gleichmäßig im Raum. Sie begrenzt die Direkt- und Reflexblendung und hat eine gute Farbwiedergabe. Ihr Licht flimmert nicht und berücksichtigt das einfallende Tageslicht.

Die grundsätzlichen Anforderungen an die Beleuchtung sind in der Normenreihe 5035 sowie in der Norm DIN EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“ benannt. Sie geben Wertungswerte für die lichttechnisch relevanten Größen vor und beschreiben Mindestvoraussetzungen für gute Beleuchtungsqualität. In Deutschland sind für Arbeitsplätze außerdem die Anforderungen der ASR A3.4 „Beleuchtung“ der Techni-

schen Regeln für Arbeitsstätten zu beachten. Die ASR konkretisiert die Anforderungen, die an Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit gestellt werden.

DIN SPEC 67600 hilft bei der Planung

Soll die Beleuchtung auch melanopisch wirksam sein, müssen zudem Lichtfarbe, Beleuchtungsstärke und Lichtrichtung angepasst werden können. Planungsempfehlungen gibt hier erstmals die DIN SPEC 67600 vom April 2013, die aktuelle Forschungsergebnisse und erfolgreich getestete Anwendungen berücksichtigt.

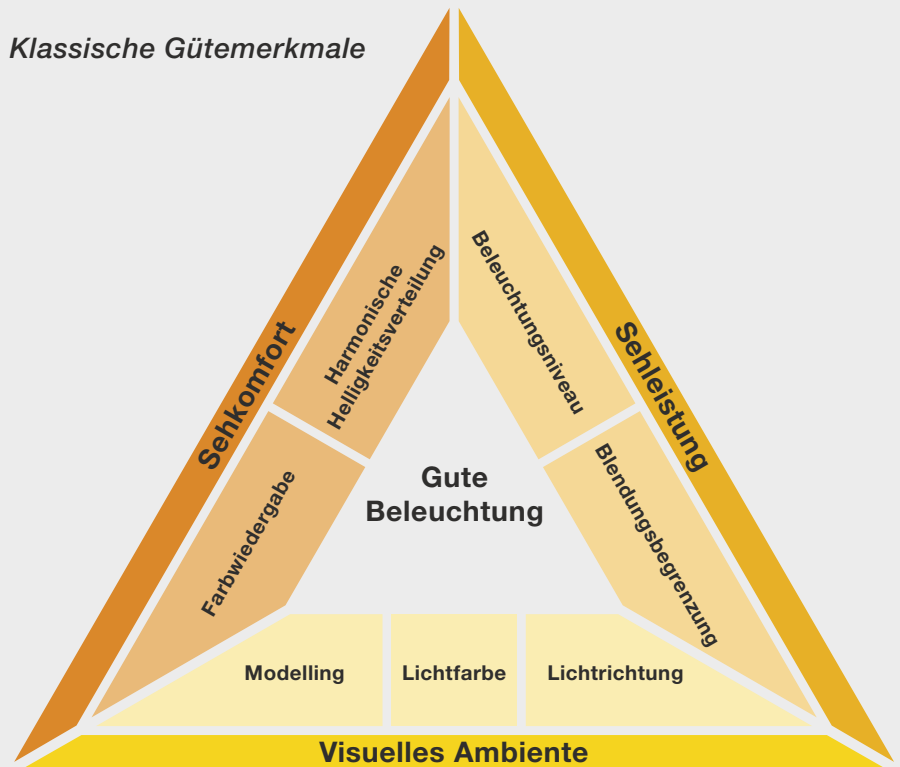
DIN SPEC 67600 informiert in Anlehnung an DIN EN 12464-1 über den Nutzen einer biologisch wirksamen Beleuchtung für unterschiedliche Innenräume, Bereiche der Sehaufgabe oder der Tätigkeit und gibt Empfehlungen für Lebensräume, die Arbeitsstätten oder Nicht-Arbeitsstätten sein können. Der Fachbericht bezieht sich ausschließlich auf nicht-visuelle Wirkungen, die über die Augen vermittelt werden – sowohl durch Tageslicht und künstliche Beleuchtung als auch durch eine Mischung von beiden. Hinweise zum melanopischen Wirkungsfaktor moderner Lichtquellen gibt DIN SPEC 5031-100 von 2014.



39

Gütemerkmale der Beleuchtung nach DIN EN 12464-1

Klassische Gütemerkmale



Weitere Kriterien für die Lichtplanung

Tageslicht-Integration	Energieeffizienz
Veränderung der Lichtsituation	Individuelle Einstellmöglichkeiten

40

© licht.de

Ganzheitliche Lichtplanung

Die Planung einer biologisch wirksamen Beleuchtung stellt hohe Anforderungen. DIN SPEC 67600 empfiehlt aus diesem Grund eine integrierende, ganzheitliche Licht- und Raumplanung. Sie stellt sicher, dass die Nutzung und die Wirkungen von Licht von Beginn an in den Planungsprozess einbezogen und alle Gewerke und Materialien gut aufeinander abgestimmt sind. Weiterhin trägt eine ganzheitliche Planung – unter anderem durch die geeignete Nutzung von Tageslicht – dazu bei, auch eine Beleuchtung mit circadianen Effekten energieeffizient zu realisieren (siehe dazu auch Seite 32f.).

Die Planungsempfehlungen nach DIN SPEC 67600 berücksichtigen dabei bevorzugt Räume, in denen sich Menschen länger aufhalten, zum Beispiel Arbeitsplätze und Kommunikationszonen in Innenräumen oder häufig genutzte Räume in Pflegeeinrichtungen. Tages- und Monatsrhythmen sind bei der Planung ebenso einzubeziehen wie die Jahreszeiten und die Ausrichtung von Gebäuden.

Melanopische Wirkungen von Licht ergeben sich aus

- höheren Beleuchtungsstärken,
- mehr Blauanteilen im Licht,
- flächigen Lichtquellen,
- zeitlich veränderlichem dynamischen Licht und
- dem richtigen Zeitraum: Wirkungsvoll ist biologisch wirksames Licht insbesondere am Morgen nach vorangegangener Dunkelheit.

[38 + 39] Eine biologisch wirksame Beleuchtung sorgt für mehr Wohlbefinden, stärkt Gesundheit und Leistungskraft. Einstellungen mit biologisch aktivierendem und entspannendem Licht wechseln im Tagesverlauf nach dem Vorbild der Natur.

[40] DIN-Normen und die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) nennen Gütemerkmale, die in der Summe die Qualität einer Beleuchtungsanlage beschreiben. Sie müssen auch bei der Planung einer melanopisch wirksamen Beleuchtung berücksichtigt werden.

Lichtfarbe ist entscheidend

Die Lichtfarbe wird als Farbtemperatur in der Einheit Kelvin (K) angegeben. Sie charakterisiert das farbliche Aussehen des Lichts einer Lichtquelle. Zum Vergleich: Die Lichtfarbe des Himmels variiert überwiegend zwischen 6.000 und 10.000 Kelvin.

Entsprechende Farbtemperaturen müssen auch die Lichtquellen aufweisen, die für eine biologisch wirksame Beleuchtung eingesetzt werden sollen, damit sie – dem Tageslicht gleich – die zuständigen Fotorezeptoren im menschlichen Auge optimal ansprechen können. Das gelingt mit tageslichtweißen Lichtquellen mit einer Farbtemperatur oberhalb von 5.300 Kelvin. Sie weisen einen höheren Blauanteil auf und sind circadian sehr viel wirksamer als warmweißes Licht. Für eine aktivierende Wirkung eignen sich Leuchtstofflampen und LEDs.

Beleuchtungsstärke

Wenngleich insbesondere die blauen Spektralanteile für die biologische Wirkung einer künstlichen Beleuchtung entscheidend sind, ist neben der Lichtfarbe ebenso die Beleuchtungsstärke (gemessen in der Maßeinheit Lux, lx) zu berücksichtigen. Entscheidend sind die vertikalen Beleuchtungsstärken am Auge des Betrachters,

die vor allem durch die wahrgenommenen Leuchtdichten der betrachteten Oberflächen bestimmt werden: Sie müssen nach DIN SPEC 67600 mindestens 250 Lux bei 8.000 Kelvin erreichen, denn unterhalb dieser Grenze lässt sich keine signifikante biologische Wirkung nachweisen. Bei anderen Farbtemperaturen muss die Beleuchtungsstärke entsprechend der neuen DIN SPEC 5031-100 angepasst werden.

Lichtverteilung im Raum

Damit Licht biologisch wirken kann, müssen die Augen helle Bereiche im Raum auch möglichst effektiv wahrnehmen können. Da die melanopsinhaltenen Ganglienzellen im unteren und nasalen Bereich des Auges besonders empfindlich sind, ist eine flächige Beleuchtung heller Bereiche im oberen Teil des Gesichtsfeldes sinnvoll.

Dies gelingt durch

- großflächige Fenster, Oberlichter im Raum und tageslichtlenkende Systeme zur Deckenaufhellung;
- großflächige Leuchten oder Lichtdecken;
- Leuchten mit großflächigen Indirektanteilen. Sie sorgen dafür, dass die Decke und das obere Drittel der Wände aufgehellt werden;
- hinterleuchtete transparente Materialien, wie etwa Lichtdecken, Oberlichter mit Kunstlicht, Lichtkästen oder Gardinen;



- Beleuchtung mit indirekten Lichtanteilen an Raumelementen und Einrichtungsgegenständen.

Das richtige Licht im Tagesverlauf

Jeder Mensch hat einen individuellen Tag-Nacht-Rhythmus, der durch das Tageslicht regelmäßig synchronisiert wird. Für die meisten Menschen gilt, dass eine stimulierende biologische Wirkung der Beleuchtung vor allem am Morgen sinnvoll ist. Die dynamische Beleuchtung kann sich am Tagesverlauf mit kontinuierlich steigenden Beleuchtungsstärken und Blauanteilen im Licht bis zur Mittagszeit orientieren oder aber durch eine zeitliche Variation der Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe die Aktivität am Tag unterstützen. Wiederholte Lichtwechsel sind immer im Zusammenhang mit der jeweiligen Nutzung zu planen. Sie sollten mindestens einige Minuten andauern, damit sie biologisch wirken und unerwünschte Flimmereffekte unterbleiben.

Am Abend ist in der Regel Licht mit aktivierender Wirkung zu vermeiden, um die Melatoninproduktion nicht zu stören und den Körper auf den Schlaf vorzubereiten. DIN SPEC 67600 empfiehlt, etwa zwei Stunden vor dem Zubettgehen gedimmtes, gerichtetes Licht in warmen Lichtfarben mit höheren Rot- und stark reduzierten Blauanteilen zu nutzen.

Schichtarbeit

Sehr komplex sind die Anforderungen einer melanopisch wirksamen Beleuchtung für Menschen, die im Schichtbetrieb arbeiten. Ihr circadianer Rhythmus weicht häufig vom natürlichen Schlaf-Wach-Rhythmus ab. Aus diesem Grund plädieren Chronobiologen generell dafür, Modelle für die Schichtarbeit zu entwickeln, die die innere Uhr der Menschen weniger stören. Mögliche Lösungsansätze für eine unterstützende Beleuchtung stellt DIN SPEC 67600 vor.

Materialeigenschaften und Lichtfarbe

Für eine circadian wirksame Beleuchtung muss weiterhin darauf geachtet werden, dass das von der Lichtquelle abgestrahlte Spektrum weder von der Leuchte noch von den Umgebungsfarben im Raum verfälscht wird.

Bei Leuchten verändern vor allem lichtlenkende Elemente wie Raster, Abdeckungen oder Prismen das Licht. Sie können dazu beitragen, dass ein von der Lampe abweichendes Spektrum auf das Auge trifft. Die spektralen Eigenschaften dieser Elemente bestimmen die Qualität des dynamischen Lichts. Im schlechtesten Fall bleiben von einer Lampe mit 8.000 Kelvin Farbtemperatur nur 6.500 Kelvin im Raumlicht übrig.

Raumumgebung und Lichtfarbe

Großen Einfluss auf die visuelle Atmosphäre haben neben der Lichtfarbe der eingesetzten Leuchtmittel auch die Farben der Möbel, der Wände und der Decke. Dunkle Farben reflektieren weniger Licht als helle. Viel Licht kann „verschluckt“ werden, wenn vor allem indirekte Leuchtensysteme ihr Licht ausschließlich gegen die Raumbegrenzungsflächen abstrahlen. Holzflächen, Rottöne und Erdfarben sowie opale Einrichtungs-elemente absorbieren die Blauanteile des Spektrums und können dadurch die biologische Wirkung des Lichts erheblich reduzieren.

[41] Morgens lässt sich die innere Uhr mit künstlichem Licht am besten takten. Sinnvoll sind höhere Beleuchtungsstärken an der Decke und der oberen Wand, höhere Blauanteile und eine flächige Lichtverteilung, damit die Fotorezeptoren gut erreicht werden.

[42] Gegen Abend wird der Körper auf die Ruhepause vorbereitet: Richtig ist eine Beleuchtung nur für die visuellen Sehaufgaben, mit möglichst geringen Blauanteilen und gerichtetem Licht.

[43] Lichtfarbe und Beleuchtungsstärke verändern sich dynamisch: So unterstützt biologisch wirksames Licht den Menschen.



Lichtqualität und Energieeffizienz

Eine gute Beleuchtung dient dem Menschen – und muss heute auch ökologischen Ansprüchen genügen. Hohe Lichtqualität und Energieeffizienz stehen dabei nicht im Widerspruch. Auch eine circadian wirksame Beleuchtung kann mit moderner Lichttechnik energiesparend realisiert werden.

Licht ermöglicht dem Menschen, sich zu orientieren. Es unterstützt ihn bei der Arbeit, erzeugt Stimmungen und kann die Gesundheit positiv beeinflussen. Energiesparende Beleuchtungslösungen gehen dabei verantwortungsvoll mit den Ressourcen um.

15 Prozent des weltweiten Bedarfs an elektrischer Energie werden laut Internationaler Energieagentur (IEA) für die Beleuchtung verwendet. In Deutschland lag dieser Wert 2011 nach Angaben des Umweltbundesamtes im gewerblichen Bereich bei elf Prozent. Entsprechend hoch ist der Beitrag, den intelligent eingesetztes Licht für die Energieeffizienz leisten kann.

Intelligente Lichttechnik schont Ressourcen

Mindestanforderungen für den effizienten Betrieb von Beleuchtungsanlagen legt die Energieeinsparverordnung (EnEV) der Bundesregierung fest. Mit den in DIN V 18599 definierten Kriterien und Nutzungsrandbedingungen lässt sich der Energieverbrauch von Räumen und Gebäuden bewerten. Die energetischen Anforderungen steigen mit jeder Aktualisierung der EnEV.

Um die Grenzwerte einzuhalten oder gar zu unterschreiten, werden ein modernes Lichtmanagement und eine effiziente Beleuchtung, etwa mit LED-Leuchten, eingesetzt. Eine Lichtsteuerung setzt dimmbare Leuchten voraus. Tageslichtabhängig gesteuerte Beleuchtung kann bis zu 35 Prozent Energie einsparen. Kombiniert mit Zeit- und Anwesenheitssensoren, sind sogar Einsparungen von 55 Prozent und mehr möglich.

Beleuchtungsqualität einhalten

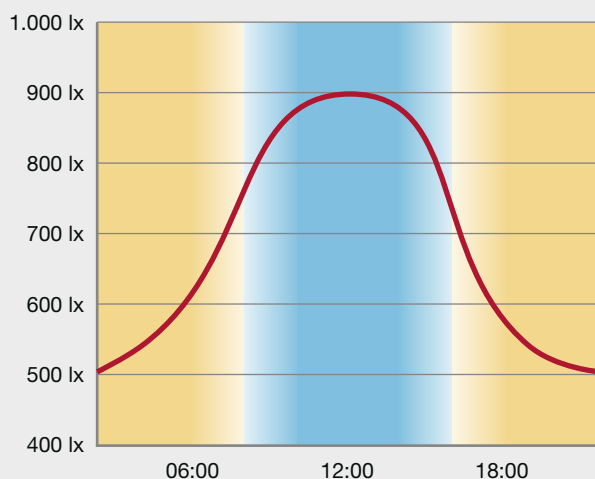
Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die erforderliche Beleuchtungsqualität eingehalten wird. So müssen Arbeitsstätten nach der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.4 ausreichend Tageslicht erhalten und mit einer angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein. Auch nach DIN EN 12464-1 soll die Lichtqualität nicht reduziert werden, um den Energieverbrauch zu senken.

Eine gute Beleuchtungsanlage berücksichtigt visuelle, emotionale und biologische Wirkungen von Licht – und ist dabei zugleich energieeffizient. Wichtige Merkmale

[44] Beispiel einer circadian wirksamen Beleuchtung im Büro (37 m² groß): Horizontale Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe verändern sich im Tagesverlauf.

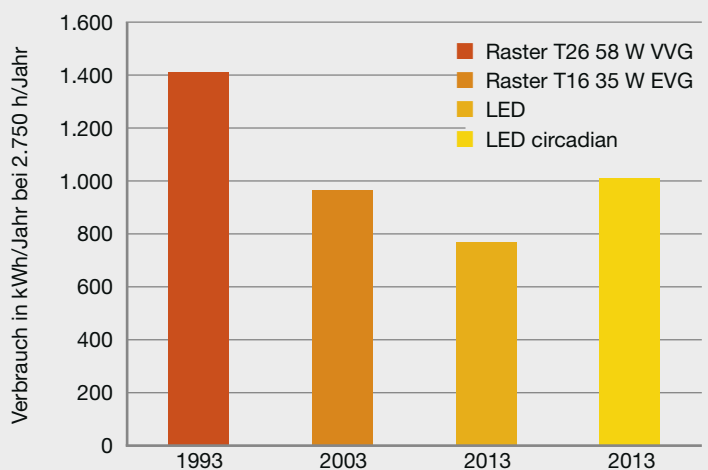
[45] Je älter eine Beleuchtungsanlage, desto mehr Energie verbraucht sie. Bei einer Sanierung lässt sich je nach Alter der Anlage eine biologisch wirksame Beleuchtung auch kostenneutral oder mit höherer Effizienz realisieren.

Circadiane Beleuchtung im Büro



© licht.de

Energieverbrauch einer Beleuchtungsanlage



© licht.de

der Beleuchtungsqualität sind dabei:

- Sehleistung,
- Erscheinungsbild,
- Sehkomfort,
- Vitalität und
- Individualität.

Lösungen für circadiane Beleuchtung

Wie passen circadian wirksame und energieeffiziente Beleuchtung zusammen? Verbraucht circadiane Beleuchtung mehr Strom als eine herkömmliche Beleuchtung? Um diese Fragen zu beantworten, sind eine detaillierte professionelle Lichtplanung und eine Wirtschaftlichkeitsberechnung notwendig, die einen fairen Vergleich der Alternativen ermöglichen.

Ebenso kommt es auf die Betrachtungsweise an: Wird eine circadiane Beleuchtung mit der besten verfügbaren LED-Technik verglichen, so kann die Frage nach einem höherem Verbrauch mit Ja beantwortet werden. Wird allerdings eine circadiane Beleuchtung im Rahmen einer Sanierung mit einer älteren Anlage verglichen, so kann die Frage klar mit Nein beantwortet werden.

Da während der vergangenen Jahrzehnte der Jahresstromverbrauch für die Beleuchtungstechnik ständig gesunken ist, spielt das Alter der Bestandsanlage eine wichtige Rolle. Dies zeigt das folgende Beispiel: Berechnungsgrundlage ist eine Beleuchtungsanlage für ein Vier-Personen-Büro mit rund 37 Quadratmetern. Basierend auf 2.750 Brennstunden im Jahr (nach EnEV) ergeben sich folgende Jahresverbräuche:

- 30 Jahre alt – etwa 2.310 kWh/Jahr
- 20 Jahre alt – etwa 1.410 kWh/Jahr
- 10 Jahre alt – etwa 965 kWh/Jahr
- neu, LED – etwa 770 kWh/Jahr

Zur Beurteilung und Berechnung des Stromverbrauches ist es wichtig zu wissen, dass eine circadian wirksame LED-Beleuchtung über den Tagesverlauf die Lichtfarbe und die horizontale Beleuchtungsstärke verändert, wobei die normativen Anforderungen der DIN EN 12464-1 immer eingehalten werden. Insbesondere die Veränderung der Beleuchtungsstärke hat einen maßgeblichen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Beispiel Tagessynchronisation

Bei einer Tagessynchronisation (siehe Grafik 24, Seite 20, „Lichtkonzept A“) wechselt die Lichtfarbe von Warmweiß am Morgen über Tageslichtweiß am Mittag wieder zu Warmweiß am Abend. Die Beleuchtungsstärke erhöht sich in diesem Vergleich zur Mittagszeit von 500 Lux (lx) auf 900 lx (siehe Grafik 44, Seite 32). Diese Erhöhung der Beleuchtungsstärke wirkt sich natürlich auch auf den Jahresverbrauch aus. Die Beleuchtungsstärke steigt kontinuierlich auf ihr Maximum an und fällt am Nachmittag wieder ab. Der Maximalwert wird also nur über einen begrenzten Zeitraum erreicht. Daraus ergibt sich ein Jahresverbrauch der circadianen Beleuchtung von rund 1.010 kWh/Jahr. Dies sind rund 30 Prozent mehr gegenüber einer modernen energieeffizienten, unregulierten LED-Beleuchtung. Hierbei ist aber noch nicht berücksichtigt, dass die circadiane Beleuchtungsanlage durch Lichtsteuerung und eine entsprechende Sensorik die „Einsparung des Wartungsfaktors“ ermöglicht. Denn die neue Anlage wird auf einen Sollwert eingestellt und benötigt zur Erreichung des Sollwertes zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme deutlich weniger Strom als zum Zeitpunkt ihrer Wartung. Diese Energieeinsparung beträgt anfangs etwa 25 Prozent und nimmt dann stetig ab.

Es sind aber noch weitere Einsparungen möglich. Der Jahresverbrauch der Beleuchtungsanlage kann über einen Präsenzmelder weiter reduziert werden. Und eine letzte Verbrauchsreduzierung ist schließlich über Tageslichtsensoren möglich, technisch jedoch aufwendig, da der Sollwert dabei dynamisch der Tageszeit angepasst werden müsste. Hier liefert die EnEV Zahlen zur Energieeinsparung mit 28,5 Prozent für Präsenz- und 55 Prozent für Tageslicht-Regelung.

Ob also die circadiane Beleuchtungsanlage mehr Energie als eine ungesteuerte Anlage verbraucht, muss professionell berechnet werden. Eine Antwort kann nur individuell gegeben werden.

Bestnoten für LEDs und Lichtsteuerung

In einem Forschungsprojekt untersuchte das Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen bei München, in natürlich und

künstlich beleuchteten Einzelräumen unterschiedliche Gebäudetechniken wie Heizungs-, Kühlungs- oder Lüftungsanlagen, aber auch Beleuchtungskonzepte unter realistischen Bedingungen.

Mit Blick auf die Beleuchtung ist die am weitesten ausgereifte Variante eine arbeitsbereichsbezogene und tageslichtgesteuerte Direkt-/Indirekt-Beleuchtung, die die Wände zusätzlich aufhellt. In den Morgenstunden und am späteren Nachmittag werden die Stirnwände des Raumes zusätzlich beleuchtet, um mit höheren vertikalen Beleuchtungsstärken das Erscheinungsbild, die Emotionalität und den Sehkomfort zu verbessern. Die Messergebnisse zeigen, dass die beschriebene Lichtinstallation als „sehr gut“ einzustufen ist.

Die beste Balance zwischen Beleuchtungsqualität und Energieeffizienz erreichen Installationen mit hohem Automatisierungsgrad. Tageslichtsteuerung und Präsenzsteuerung von Komponenten senken den Energieverbrauch deutlich.

Mehr Produktivität

In einer der umfassendsten Studien ihrer Art kamen Forscher des Light Right Consortiums, New York, überdies zu dem Ergebnis, dass gutes Licht die Produktivität verbessert. Neun bis 31 Prozent der Personen, deren Arbeitsplatz nur mit direkt strahlenden Systemen beleuchtet war, beurteilten diese als unangenehm. Dagegen empfanden 91 Prozent ein System aus Direkt-/Indirekt-Beleuchtung und hohen vertikalen Leuchtdichten als angenehm. War die Arbeitsplatzbeleuchtung zusätzlich individuell dimmbar, zeigten sich die Mitarbeiter motivierter, ausdauernder und wacher. Außerdem arbeiteten sie genauer.

Angesichts dieser Ergebnisse lassen sich Beleuchtungsqualität und Energieeffizienz nicht gegeneinander ausspielen. Der etwas höhere Energieverbrauch, den ein solches Beleuchtungskonzept gegenüber einer auf Energieeffizienz optimierten Anlage mit sich bringt, macht sich durch ein Mehr an Motivation, Leistung und Gesundheit bezahlt.



Licht im Büro

Beleuchtungsstärke, Lichtfarbe und Leistung haben bei der Arbeit mehr miteinander zu tun, als es auf den ersten Blick scheint. Denn richtige Bürobeleuchtung macht Mitarbeiter nicht nur wacher – sie motiviert und steigert die Leistungsfähigkeit.



Planungsempfehlung

Tätigkeiten im Büro stellen vielfältige Anforderungen. Eine biologisch wirksame Beleuchtung kann vor allem in Büros und Konferenzräumen, in denen lange gearbeitet wird, sowie in den Wintermonaten, wenn die innere Uhr kaum mit dem Tageslicht synchronisiert wird, das Wohlbefinden der Menschen nachhaltig stärken. Beleuchtungsstärken und wechselnde Farbtemperaturen der künstlichen Beleuchtung sollten sich dynamisch dem natürlichen Tagesverlauf anpassen und nach dem einfallenden Tageslicht geregelt werden. Aktivierend wirken nach DIN SPEC 67600 zum Beispiel zwischen 8 und 10 Uhr eine vertikale Beleuchtungsstärke am Auge von 250 Lux und eine Farbtemperatur von 8.000 Kelvin. Sie kann auch zwischen 13 und 14 Uhr belebende Impulse setzen. Am Abend zwischen 18 und 20 Uhr sollte die Beleuchtung mit etwa 200 Lux vertikal am Auge und maximal 3.000 Kelvin zur Entspannung beitragen. In den übrigen Arbeitsstunden ist das Beleuchtungsniveau entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Sehaufgaben auszuführen. Bei der Planung sind deshalb zunächst DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7 sowie die Arbeitsstättenregel ASR3.4 zu beachten.

Digitalisierung und das globale Miteinander verändern den Arbeitsplatz Büro. Mitarbeiter werden immer mobiler, neue Organisationsformen entstehen und die Arbeitszeit ist zunehmend projektorientiert. Moderne Beleuchtungskonzepte gehen über ergonomische und emotionale Aspekte der Lichtqualität hinaus: Sie bringen die Dynamik des natürlichen Tageslichts ins Gebäudeinnere und unterstützen den biologischen Rhythmus des Menschen.

Gerade in den eher dunklen Monaten ist die Synchronisation der inneren Uhr mit dem Tageslicht für viele Menschen nicht möglich. Eine biologisch wirksame Beleuchtung kann Stimmung und Wohlbefinden positiv beeinflussen und stärkt damit auch die Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter. Sinnvoll sind Lösungen mit nicht-visueller Wirkung des Lichts vor allem für Räume, in denen Menschen lange Zeit verweilen – wie zum Beispiel Büroräume, Konferenz- und Besprechungsräume oder Kantinen. Auch Räume mit geringer Tageslichtversorgung, zum Beispiel Großraumbüros oder Flure, eignen sich für eine dynamische Beleuchtung.

Richtiges Licht: Die Mischung zählt

Ausgestattet mit einer Lichtsteuerung und Sensoren, verändert eine biologisch wirksame Beleuchtung Helligkeit und Lichtfarbe dynamisch im Tagesverlauf. Großformatige Leuchten und aufgehellte Decken sorgen nach dem Vorbild des Himmels tagsüber für eine flächige Beleuchtung, die mit hohen Blauanteilen im Licht und Beleuchtungsstärken von mehr als 500 Lux belebend

wirkt. In den Abendstunden sollte die Beleuchtung nicht mehr aktivierend wirken, damit der Körper das Schlafhormon Melatonin bilden kann. Besser sind dann gerichtetes, warmweißes Licht aus direkt strahlenden Leuchten und eine zurückgenommene Helligkeit.

Elektronische Steuerung

Zahlreiche Anwendungen und Studien belegen die positiven Wirkungen einer circadian wirksamen Beleuchtung:

- Die Mitarbeiter fühlen sich wacher.
- Sie sind messbar leistungsfähiger.
- Punktuell höhere Beleuchtungsstärken und dynamisch veränderte Lichtfarben wirken sich positiv auf die Konzentration aus.

Einige Bürogebäude sind inzwischen komplett mit dynamischer Beleuchtung ausgestattet. So steuert in einem Hamburger Unternehmen die Beleuchtungsanlage elektronisch über den Tag voreingestellte Lichtstimmungen, die den circadianen Rhythmus unterstützen. Großflächige Leuchten, ausgerüstet mit tageslichtweißen und warmweißen Leuchtstofflampen, erzeugen stufenlos jede gewünschte Lichtfarbe zwischen 3.000 und 5.500 Kelvin in verschiedenen Beleuchtungsstärken. Zudem lassen sich einzelne Arbeitsplätze individuell beleuchten.

Eine derartige Komplettlösung benötigt etwa 30 Prozent mehr Energie als unregelte, nicht farbveränderliche Beleuchtungsanlagen mit LEDs (Stand 2014). Gleichzeitig aber sind die Mitarbeiter konzentrierter und fühlen sich motiviert.

[46] Dynamische Beleuchtung im Büro sorgt vor allem in tageslichtärmeren Bereichen für mehr Wohlbefinden. Nach dem Vorbild der Natur verändern sich Lichtfarbe, Beleuchtungsstärke und Lichtrichtung im Tagesverlauf. Kühle Lichtfarben mit hohem Blauanteil aktivieren, warme Lichtfarben entspannen.

Licht in der Industrie

An der Maschine oder bei der Montage: Sorgt eine biologisch wirksame Beleuchtungsanlage für Licht am Arbeitsplatz, sind Mitarbeiter in der Industrie wacher und konzentrierter. Sie können nachts besser schlafen und sind tagsüber ausgeruhter. Das senkt die Fehlerquote und erhöht die Sicherheit.

Auch an Industriearbeitsplätzen unterstützt eine melanopisch wirksame Beleuchtung den circadianen Rhythmus des Menschen. Dynamisches Licht mit nicht-visuellen Wirkungen aktiviert morgens und am Mittag und sorgt für einen besseren Schlaf.

Viele Menschen in der Industrie arbeiten im Schichtbetrieb, müssen zum Beispiel sehr früh aufstehen. Sie klagen häufig über schlechten Schlaf und Müdigkeit am Tag. Damit sinkt auch die Produktivität, denn wer nicht regnerieren kann, ist tagsüber auch nicht sehr leistungsfähig. Biologisch wirksames Licht hilft, wie eine österreichische Studie aus dem Jahr 2010 belegt.

Mehr Wohlbefinden, mehr Konzentration

Das Forschungsteam wählte zwei dynamische Beleuchtungsszenarien für die Allgemeinbeleuchtung: Beide Male variierte die Beleuchtungsstärke bei einer Farbtemperatur mit jeweils 4.000 Kelvin von den normierten 1.000 Lux zu biologisch wirksamen 2.000 Lux. In der ersten Versuchsanordnung wurde die Lichtverdopplung deutlich wahrnehmbar in längeren Zeitintervallen eingesetzt, damit die Beleuchtung zu Schichtbeginn aktivierend und bei Schichtende entspannend wirkte. Alternativ wurden Helligkeitsdynamiken mit kürzeren Zeitintervallen getestet, die für die Arbeiter nicht wahrnehmbar waren. Die Ergebnisse belegen den positiven Einfluss von dynamischem

Raumlicht mit nicht-visuellen Effekten:

- Die Schlafqualität verbessert sich deutlich,
- das Wohlbefinden während und nach der Schichtarbeit steigt,
- Arbeitsaufgaben werden in kürzerer Zeit erledigt.

Auch kürzere Frequenzen wirken

In einem Laborexperiment mit 29 Testpersonen wurde daraufhin ebenfalls 2010 geprüft, ob dynamische Lichterhythmen bei einer biologisch wirksamen Lichtfarbe von 4.000 Kelvin auch in kürzerer Taktung Wirkung zeigen. Diese Form der Lichtdynamik ist mit vergleichsweise geringem Aufwand und weniger Kosten verbunden, da die Beleuchtungsstärke variiert und nicht über lange Zeiten konstant auf hohem Niveau gehalten wird.

Die Laborstudie zeigt: Licht, das im Stundentakt sanft von 500 auf 2.000 Lux ansteigt und sich dann unmerklich wieder absenkt, reduziert die physiologischen Reaktionen auf Stress. In diesem Bereich ist weitere Forschung notwendig.

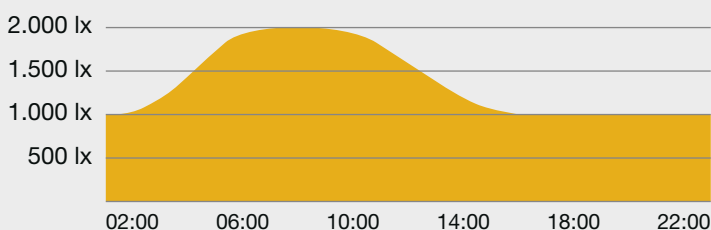
Sicher ist: Mit biologisch wirksamer Beleuchtung lässt sich die Schlafqualität nachweislich verbessern, so dass Mitarbeiter auch am Tag aktiver und motivierter sind. Ein optimales Lichtniveau und melanopische Beleuchtung stärken die Gesundheit der Mitarbeiter und unterstützen sie in ihrer Leistungsfähigkeit.

[48] Eine circadiane Beleuchtung nach dem Vorbild des Tageslichts aktiviert beim Arbeitsbeginn und wirkt gegen Abend entspannend.

[49] Auch kürzere Stimulierungsfrequenzen stärken das Wohlbefinden am Arbeitsplatz. Diese Variante dynamischer Beleuchtung ist mit vergleichsweise geringen Kosten verbunden.

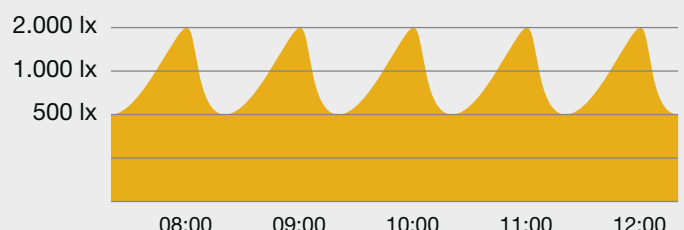
[50 – 52] Studien zeigen, dass der Einsatz von biologisch wirksamem Licht in der Produktion die Gesundheit der Mitarbeiter fördert und ihre Leistungskraft stärkt. Sinnvoll und energiesparend ist die Kombination einer dynamischen Beleuchtung mit möglichst viel Tageslicht.

Circadiane Beleuchtung in der Industrie



© licht.de

Kurze Stimulierungsfrequenzen



© licht.de



50



51



52



53

Licht in der Schule

Wer lernt, braucht gutes Licht zum Sehen. Studien belegen, dass sich eine biologisch wirksame Beleuchtung positiv auf das Lernverhalten auswirkt und den Schülern dabei hilft, aufmerksamer und konzentrierter zu arbeiten.

Vormittags sind viele Schüler noch halb im Schlafmodus, denn gerade bei Heranwachsenden gerät die innere Uhr häufig aus dem Takt. So sind Jugendliche gerne noch spät abends hellwach, kommen morgens aber nur schwer aus dem Bett und sind wenig motiviert zum Lernen. Ihre innere Uhr „tickt“ nach einem anderen Zeitplan als die Schule; sie sind im „sozialen Jetlag“.

Zahlreiche Untersuchungen aus den vergangenen Jahren zeigen, dass eine dem Tageslicht nachempfundene Beleuchtung dem circadianen Rhythmus von Schülern wichtige Impulse geben kann:

- Schüler sind morgens wacher und damit deutlich leistungsstärker.
- Ihre Konzentrations- und Merkfähigkeit steigt,
- die Fehlerquote sinkt signifikant.

Mehr Konzentration

Diese positiven Wirkungen, die eine Hamburger Studie aus dem Jahr 2007/2008 belegt, wurden 2012 nochmals durch eine Studie in zwei Ulmer Gymnasien bestätigt. Dabei wurden Jugendliche im Alter zwi-

schen 17 und 20 Jahren sowohl in einem Klassenzimmer mit biologisch optimierter Beleuchtung als auch in einem Raum mit herkömmlichem Licht unterrichtet. Die Schüler mussten mehrere standardisierte Leistungs- und Aufmerksamkeitstest absolvieren.

Der Klassenraum mit dynamischer Beleuchtung wurde mit abgependelten LED-Leuchten (blaue und weiße LEDs) ausgestattet, die unabhängig voneinander angesteuert werden konnten und im Zusammenspiel eine sehr hohe Farbtemperatur von bis zu 14.000 Kelvin – tageslichtweißes Licht – erreichten. Die Leuchten gaben ihr Licht sowohl direkt als auch indirekt in den Raum ab. Eine integrierte Lichtsteuerung sorgte dafür, dass die Farbtemperaturen dynamisch im Tagesverlauf angepasst wurden. Die Standardbeleuchtung mit Leuchtstofflampen erreichte eine Farbtemperatur von 4.000 Kelvin. Die Beleuchtungsstärke war in beiden Klassenzimmern gleich: 700 Lux horizontale Beleuchtungsstärke auf der Tischoberfläche und 300 Lux vertikale Beleuchtungsstärke in Augenhöhe.



54

Das Ergebnis war durchweg positiv: Unter dem Einfluss der biologisch wirksamen Beleuchtung waren die Schüler deutlich konzentrierter. Sie arbeiteten schneller und zeigten bessere Leistungen.

Abends müde, morgens fit


Zeitgleich führten Schüler aus beiden Gruppen ein Schlafstagebuch. Hier zeigte sich, dass die Jugendlichen in Summe zwar vergleichbar viele Stunden geschlafen haben. Bei jenen Schülern, die tagsüber bei Licht mit höheren Blauanteilen arbeiteten, hat sich allerdings der Schlafrhythmus verlagert: Sie sind abends eher schlafen gegangen und waren morgens zu Schulbeginn ausgeschlafen und fit. Dies zeigt, dass der Schlaf-Wach-Rhythmus und die Lichtgeschichte bei Schülern wichtige Faktoren für den Lernerfolg sind.

Die besten Effekte erzielt eine biologisch wirksame Beleuchtung, wenn sie langfristig eingesetzt wird und das circadiane System nachhaltig stabilisiert. Aber auch kurzfristig zeigen sich bereits positive Ergebnisse: So fördern kurze „Lichtduschen“ mit hohen Blauanteilen nachweislich die Konzentration.

Nicht nur für die Aktivierung, auch für die Beruhigung spielt dynamisches Licht eine wichtige Rolle. Warme Lichtfarben und eine gedämpfte Beleuchtung tragen zu mehr

Ruhe in Gruppendiskussionen und zur Entspannung nach Klassenarbeiten bei. Erfolgreich werden solche beruhigenden Lichtstimmungen auch in der Therapie bei Jugendlichen mit Aufmerksamkeitsdefizit-Syndrom (ADHS) eingesetzt.

Bei der Planung einer biologisch wirksamen Beleuchtung muss das Alter der Schüler und der Anwendungszeitpunkt berücksichtigt werden: Kinder und Jugendliche haben andere Lichtbedürfnisse als Erwachsene, die häufig in den Abendstunden unterrichtet werden.

 Mehr Informationen zum Thema Schulbeleuchtung gibt es in Heft licht.wissen 02 „Besser lernen mit gutem Licht“.

[53 + 54] Eine dynamische Beleuchtung unterstützt das Lernen und entspannt Stresssituationen. Kühle Lichtfarben mit hohen Beleuchtungsstärken aktivieren und fördern konzentriertes Arbeiten, warme Lichtfarben mit niedrigen Beleuchtungsstärken wirken beruhigend.



55

Planungsempfehlung

Für konzentrierte Arbeiten im Klassenzimmer empfiehlt DIN SPEC 67600 höhere Beleuchtungsstärken und eine Farbtemperatur von mindestens 5.000 Kelvin. Die aktivierende Beleuchtung unterstützt die Aufmerksamkeit der Schüler, zum Beispiel bei Klassenarbeiten oder bei Leseaufgaben.

Für eine entspannte Lernatmosphäre, zum Beispiel bei Gruppenarbeiten, sind ein geringeres Beleuchtungsniveau und eine Farbtemperatur von höchstens 3.000 Kelvin sinnvoll. Diese Lichtsituation hilft auch, Bewegungsunruhe zu reduzieren.

Zu Beginn des Unterrichts kann biologisch wirksames Licht genutzt werden, um die circadiane Phase der Schüler mit dem natürlichen Rhythmus des Tages zu synchronisieren. Auch beim Abendunterricht kann diese aktivierende Wirkung genutzt werden. Hier ist jedoch darauf zu achten, dass spätestens zwei Stunden vor Schlafbeginn nur noch Licht mit geringer biologischer Wirkung zur Verfügung stehen sollte.



56



57



58



59



60

Planungsempfehlung

Bei der Planung der Beleuchtung von Bettzimmern ist nach DIN SPEC 67600 die vorwiegend liegende Position der Patienten zu berücksichtigen. Eine flächige Aufhellung der Decke mit hohen blauen Spektralanteilen (über 5.300 Kelvin) und Beleuchtungsstärken bis 1.600 Lux (mindestens 250 Lux vertikal am Auge) ist tagsüber richtig. Störende Blendung ist dabei zu vermeiden. Für den Abend und die Nacht sind dimmbare warmweiße Lichtquellen empfehlenswert, die keine aktivierende Wirkung entfalten.

Bei der Planung ist überdies zu berücksichtigen, dass bei einem Notfall für die akute Versorgung das ergonomisch richtige Licht zur Verfügung steht, auch wenn der circadiane Rhythmus dadurch gestört werden könnte.

Licht im Krankenhaus

Licht ist für kranke Menschen wie Medizin. Dynamische, dem Tageslichtverlauf angepasste Beleuchtungskonzepte unterstützen den circadianen Rhythmus, das emotionale Empfinden und damit die Regeneration der Patienten.

Professionelle medizinische Versorgung, aber auch eine behagliche Atmosphäre tragen dazu bei, dass sich Patienten im Krankenhaus gut aufgehoben fühlen. Licht übernimmt hier eine Schlüsselrolle. Neben seiner ästhetischen Wirkung ist es ein wichtiger Zeitgeber für die innere Uhr. Zahlreiche Studien belegen den Zusammenhang von guter Beleuchtung, Gesundheit und Wohlbefinden – und immer mehr Krankenhäuser nutzen eine Beleuchtung, die zugleich ergonomisch, emotional ansprechend und gesundheitsfördernd ist. Die Folge: Patienten und Personal fühlen sich besser, Behandlungen sind effizienter.

Während ihres Klinikaufenthaltes kommen Patienten nur selten oder gar nicht ins Freie, und nicht immer steht ihr Bett am Fenster. Eine Beleuchtung mit nicht-visueller Wirkung beeinflusst die biologischen Prozesse im menschlichen Körper positiv: Beispielsweise als besonders helles Licht, das die Wachphasen fördert, oder als dynamisches, dem Tageslichtverlauf angepasstes Licht, das mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken und wechselnden Lichtfarben die Wach- und Schlafphasen des Patienten unterstützt.

Eine circadiane Beleuchtung eignet sich nicht nur für Zimmer der Normalpflege. Da Licht auch unterbewusst wahrgenommen wird, fördert sie zugleich die Genesung frisch operierter und schwer kranker Patienten auf Intensivstationen.

Lichtfarbe und Beleuchtungsstärke

Am Morgen wirkt kühlweißes Licht mit hohen Beleuchtungsstärken bis zu 1.600 Lux aktivierend. Großflächige Wand- oder Deckenleuchten sorgen dafür, dass das Licht aus dem oberen Halbraum auf die Augen trifft. So erreicht es die Fotorezeptoren im unteren Bereich der Netzhaut, die für die aktivierenden Blauanteile im Licht besonders sensibel sind. Zum Abend hin stimmen warme Lichtfarben unter 3.300 Kelvin und reduzierte Helligkeiten den Organismus auf die Nacht ein.

Dynamisches Licht beruht auf einem intelligent vernetzten, auch individuell zu regelndem System. Das Klinikpersonal kann für Untersuchungen oder bei Notfällen abends und nachts funktionales, blendfreies Licht einschalten und als nächtliches Orientierungslicht etwa indirekte Beleuchtung entlang der Wand regeln. Über ein Steuerungsmodul bedienen Patienten das Leselicht und ihr persönliches Stimmungslicht, zum Beispiel farbige LED-Beleuchtung.

Beruhigendes Licht im Wartebereich


Eine helle, freundliche Atmosphäre in Wartebereichen der Klinik ist die richtige Medizin gegen Angst und Beklommenheit. Weiches, dem Tagesverlauf angepasstes Licht beruhigt. Gute Dienste leistet es in Fluren, die auch Treffpunkt für Patienten und Angehörige sind. Ausreichende Leuchtdichten mit gleichmäßiger und blendfreier Aus-

leuchtung der Wege erleichtern hier Orientierung und sichere Fortbewegung – wichtig auch in der Nacht.

Sehkomfort für das Klinikpersonal

Dynamische Lichtlösungen entlasten das Klinikpersonal. Therapiezeiten und Pflegebedarf sind geringer, wenn der circadiane Rhythmus der Patienten stabil ist. Beleuchtungssysteme mit voreingestellten Lichtstimmungen unterstützen zudem Motivation und Konzentrationsfähigkeit der Mitarbeiter – und die verdiente Erholungspause im Schwesternzimmer.

Basis für eine biologisch wirksame Beleuchtung sind großflächige Lichtdecken oder Leuchten mit asymmetrischer Lichtverteilung, sogenannte Wallwasher. Sie bringen Licht an die Wände, das von dort in den Raum zurückstrahlt. Während in Dienstzimmern und Personalräumen eine helle, intensiv biologisch wirksame Beleuchtung sinnvoll ist, erfordern Behandlungsräume eine gesunde Mischung aus funktionalem Licht für Untersuchungen und angenehmer Raumbelichtung, die Patienten entspannt.

 Mehr Informationen gibt es in Heft licht.wissen 07 „Gesundheitsfaktor Licht“ aus der Schriftenreihe von licht.de.

[56 – 58] Eine biologisch wirksame Beleuchtung unterstützt den Tag-Nacht-Wechsel bettlägeriger Patienten und fördert die Genesung.

[59] Auch in Fluren und Wartebereichen leistet eine circadian wirksame Beleuchtung gute Dienste. Dem Tagesverlauf angepasstes Licht synchronisiert Patienten und Pflegepersonal mit ihrer inneren Uhr.

Licht im Seniorenheim

Eine circadian wirksame Beleuchtung verbessert den circadianen Rhythmus von Senioren und Demenzkranken nachhaltig, aktiviert am Tag und fördert den Schlaf in der Nacht. Beste Lichtbedingungen erleichtern zugleich dem Pflegepersonal die Arbeit.

Altersbedingte Krankheitsbilder stellen hohe Anforderungen an die Beleuchtung in Pflegeheimen. Viele Bewohner sehen schlecht. Die Lebensqualität des Menschen hängt aber entscheidend davon ab, wie gut er sehen kann. Allein durch das Einrüben der Linse benötigen ältere Menschen zum Lesen und Basteln Beleuchtungsstärken von 1.500 Lux – gut viermal mehr als ein Zwanzigjähriger.

Hinzu kommt: 60 bis 80 Prozent der Bewohner in Seniorenpflegeheimen leiden an unterschiedlichen Formen der Demenz. Die Betroffenen sind oft ruhelos und wandern umher. Ihre Bewegungsabläufe werden unsicherer, die Sturzgefahr steigt. Schatten auf dem Boden nehmen Demenzkranke leicht als Hindernisse wahr, die sie verunsichern. Oftmals zeigen sie sich auch orientierungslos oder haben einen verschobenen Schlaf-Wach-Rhythmus.

Biologisch wirksames Licht hilft

Mangelnde Aktivität führt zu erhöhter Schläfrigkeit am Tag und zu unruhigen Nächten. Diese Situation ist auch für das Pflegepersonal belastend und erfordert einen erhöhten Personaleinsatz.

Viele Anwendungen belegen heute, dass neben ausreichend hellem Licht eine Beleuchtung mit nicht-visuellen Wirkungen zu deutlich mehr Aktivität und Wohlbefinden der Bewohner beiträgt. Dies zeigte ein-

drucksvoll ein über 15 Monate angelegtes Forschungsprojekt in Österreich. Dazu wurde ein Wiener Altenpflegeheim für Demenzkranke mit drei verschiedenen Beleuchtungsszenarien ausgestattet:

- Lichtsituation 1 erhöhte die Beleuchtungsstärke von 300 Lux (Standardsituation) auf 2.000 Lux.
- Lichtsituation 2 sorgte für eine Erhöhung der Farbtemperatur von 3.000 Kelvin (Standardsituation) auf 6.500 Kelvin im Flur und 8.000 Kelvin im Wohn-/Essbereich.
- Lichtsituation 3 veränderte Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe dynamisch im Tagesverlauf.

Im Rhythmus: Aktivität und Ruhe

Die Wissenschaftler verglichen die Effekte einer Standardbeleuchtung mit denen der drei neuen Lichtsituationen – jeweils über einen ganzen Tag. Die Ergebnisse überzeugen: Bei allen drei Lichtsituationen kommunizierten die Bewohner intensiver und beteilig-

[61] Natürliches Tageslicht und eine circadian wirksame künstliche Beleuchtung stabilisieren den Schlaf-Wach-Rhythmus älterer Menschen und tragen viel zu mehr Lebensqualität bei.

[63 + 64] Eine melanopische Beleuchtung ist vor allem in zentralen Aufenthaltsbereichen, Fluren und Pflegeoasen sinnvoll.

Planungsempfehlung

Ältere Menschen und vor allem Demenzkranke halten sich seltener im Freien auf; der Schlaf-Wach-Rhythmus ist häufig nur unzureichend synchronisiert. DIN SPEC 67600 empfiehlt, insbesondere in zentralen Aufenthaltsräumen, große Fensterfronten für natürliches Tageslicht vorzusehen und eine circadian wirksame Beleuchtung. Diese ist ebenfalls in Fluren und in Pflegeoasen für bettlägerige Patienten sinnvoll.

Morgens und in den Mittagsstunden trägt eine flächige Beleuchtung mit vertikalen Beleuchtungsstärken von 250 Lux am Auge und eine Lichtfarbe von mindestens 5.000 Kelvin zur Tagesaktivierung bei; abends sollten eher direkt strahlende Leuchten verwendet werden mit geringerer Beleuchtungsstärke und maximal 3.000 Kelvin. In den Nachtstunden sollte die Beleuchtung auf das zur Orientierung notwendige und normgerechte Maß reduziert werden.

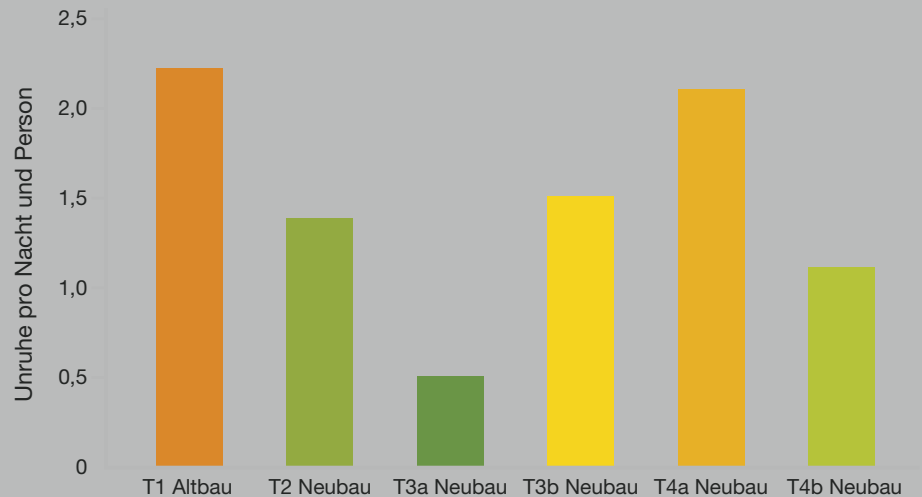


Erholsamer Schlaf

Eine circadian wirksame Beleuchtung unterstützt einen regelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus in Senioren- und Pflegeheimen. Dies bestätigte auch ein Projekt in einem Seniorenheim in Hüfingen. Industrie und Forschung untersuchten dort in einer wissenschaftlichen Evaluation von August 2007 bis März 2009 das Schlafverhalten der Bewohner – mit und ohne circadian wirksamer Beleuchtung (Lichtszenerarien jeweils mind. 13 Nächte lang; 36 Beobachtungen pro Nacht). Zunächst wurde die Schlafqualität im Altbau mit herkömmlicher Beleuchtung beobachtet. Im Anschluss daran zogen die Bewohner in einen Neubau um, der mit melanopisch wirksamer Beleuchtung ausgestattet ist.

Die Untersuchungen zeigten, dass sich die Schlafqualität der Bewohner unter dem Einfluss von circadianem Licht bereits nach acht Wochen verbesserte. Nach etwa einem Jahr berichteten die Pflegekräfte, dass 75 Prozent der Nächte deutlich ruhiger seien. Zudem seien die vorwiegend demenzkranken Bewohner ausgeglichener und positiver gestimmt als zuvor. Auch die Pflegekräfte empfanden die melanopisch wirksame Beleuchtung als wohltuend. Nächtliche Unruhe der Bewohner war vor allem im Altbau (T1) sowie in Zeiten ohne biologisch wirksames Licht (T3b und T4a) zu beobachten, während mit zunehmender Dauer einer tageszeitlich angepassten Beleuchtung (T3a und T4b) die Bewohner nachts deutlich ruhiger schliefen.

Circadiane Beleuchtungsanlage und Schlafverhalten



T1: normale Grundbeleuchtung

T2: nach 8 Wochen circadianer Beleuchtung

T3a: nach 12 Monaten circadianer Beleuchtung

T3b: nur Grundbeleuchtung

T4a: nach 6 Wochen Grundbeleuchtung

T4b: circadianes Licht nach 8 Wochen

Grundbeleuchtung

Quelle: DeSSorientiert Ausgabe 1/10, Demenz Support Stuttgart, 2010

© licht.de

62

ten sich häufiger an hauswirtschaftlichen Tätigkeiten. Auch sozial waren sie aktiver. Vor allem hohe Beleuchtungsstärken animierten die Senioren zum Basteln und Singen. Auf den hell ausgeleuchteten Fluren hielten sich die älteren Menschen ebenfalls gerne auf und fühlten sich sicherer als zuvor.

Die verstärkte Aktivität am Tag sowie das richtige Licht am Abend – reduzierte Beleuchtungsstärken und warmweißes Licht – sorgen dafür, dass die Bewohner nachts besser schlafen. Das Schlafverhalten und die Tiefschlafphasen werden durch eine circadiane Beleuchtung nachhaltig unterstützt. Damit kann insbesondere auch Demenzkranken, die oft an einer totalen Tag-Nacht-Umkehr leiden, auf natürliche Weise geholfen werden.

Menschenwürdige Pflege und Licht

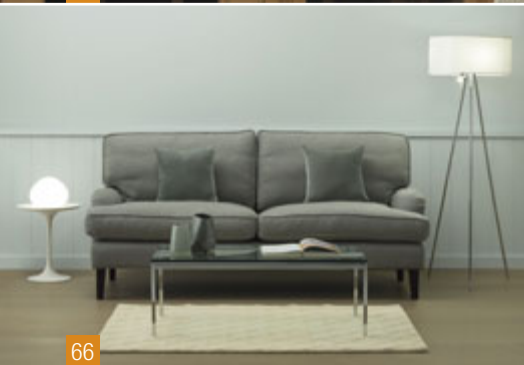
In spätestens 30 Jahren wird sich die Zahl der Pflegebedürftigen verdoppelt haben. Der demografische Wandel ist bei der Planung von Seniorenheimen schon heute zu berücksichtigen. Die Nutzung von möglichst viel natürlichem Tageslicht und eine biologisch wirksame Beleuchtung können viel dazu beitragen, die Lebensqualität für ältere Menschen lange zu erhalten. Zugleich werden weniger Schlafmittel benötigt und das Pflegepersonal wird entlastet.



63



64



Licht für zu Hause

Dynamische Beleuchtung kann auch im privaten Wohnbereich viel zum Wohlbefinden beitragen. Als Komplettlösung sind Anwendungen mit circadian wirksamer Beleuchtung derzeit noch eher selten. Mit der richtigen Auswahl an Leuchten und Lampen lassen sich aber auch zu Hause die richtigen Weichen stellen.

Wir alle brauchen Licht, um wach zu werden und uns fit zu fühlen. Die richtige Beleuchtung hilft, die Schlafqualität und das Wohlbefinden zu verbessern – und vor allem in der dunklen Jahreszeit dem weit verbreiteten Winterblues zu trotzen. Das zeigt das Ergebnis einer Studie der Bergischen Universität Wuppertal in einem Wellness-Hotel, an der 80 Probanden teilnahmen. Die Studie lässt auch Rückschlüsse für die private Beleuchtung zu.

Aktiver und ausgeruhter

Während die eine Hälfte der Teilnehmer zwei Tage lang einer normalen, hoteltypischen Beleuchtung ausgesetzt war, verbrachte die andere Hälfte den zweitägigen Aufenthalt unter Lichtbedingungen, die dem

Helligkeits- und Farbverlauf der natürlichen Sonneneinstrahlung folgen. Tagsüber genossen sie kühlweißes Licht mit hohen Blauanteilen und hohen Beleuchtungsstärken, abends warmweißes, gedämpftes Licht mit mehr Rotanteilen. Das Ergebnis:

- Die Teilnehmer schliefen besser ein,
- wachten nachts seltener auf
- und waren tagsüber wacher und aktiver.

Aktivierendes Licht am Morgen

Die positiven Lichteffekte lassen sich auch zu Hause nutzen – und sind besonders in den Wintermonaten und bei der Zeitumstellung sinnvoll. Wer nicht viel Zeit im Freien verbringen kann, sollte tagsüber auf ausreichendes Tageslicht oder künstliches Licht mit kühler Farbtemperatur (Lichtquellen mit Werten über 5.300 Kelvin oder entsprechende LED-Lampen) achten.

Versuche im Schlaflabor der Psychiatrischen Universitätsklinik an der Berliner Charité haben bestätigt, dass schon bei Verwendung herkömmlicher Lampen mit tageslicht- oder kühlweißem Licht die Melatoninausschüttung innerhalb von zehn Minuten deutlich zurückgeht – das Schlafsignal bleibt aus. Aktivierendes Licht am Morgen, zum Beispiel als großflächige Allgemeinbeleuchtung im Badezimmer oder in der Küche beim Frühstück, bringt den Körper in Schwung.

Lichttherapie

Viele Menschen leiden in der dunklen Jahreszeit unter Lichtmangel. Sie sind müde und antriebslos, haben Stimmungsschwankungen, die sich bis zu einer saisonal abhängigen Depression (SAD) entwickeln können. SAD kann mit speziellen Lichttherapiegeräten auch zu Hause gut behandelt werden. Sie geben großflächig kühlweißes Licht im kurzwelligen blauen Bereich ab. Qualitätsgeräte liefern verlässlich Farbtemperaturen von etwa 6.500 bis 10.000 Kelvin. Das entspricht dem Tageslicht.

Lichtwecker für einen guten Start

Biologisch wirksames Licht bieten auch spezielle Lichtwecker. 30 Minuten vor der eingestellten Weckzeit erhöhen sie nach und nach die Beleuchtungsstärke und simulieren einen Sonnenaufgang. So erwacht der Mensch auf natürliche Weise, fühlt sich frisch und ausgeschlafen.

Bei SAD-Patienten hat sich damit die morgendliche Stimmung vergleichbar zum Effekt einer medikamentösen Behandlung verbessert. Der Cortisol-Spiegel der Anwender ist deutlich höher als ohne Lichtwecker. Anwender starten energiegeladener in den Tag – und stehen durchschnittlich schon nach neun Minuten auf. Ohne den Lichtwecker dauert das bis zu 25 Minuten.

Entspannendes Licht am Abend

Am Abend sollte der Körper dagegen auf die Nachtruhe eingestellt werden. Spätestens zwei Stunden vor dem Zubettgehen ist deshalb warmweißes Licht mit geringen Blauanteilen richtig, um die Melatonin-Produktion zu fördern. Dafür eignen sich Halogenlampen und entsprechende warmweiße LEDs.

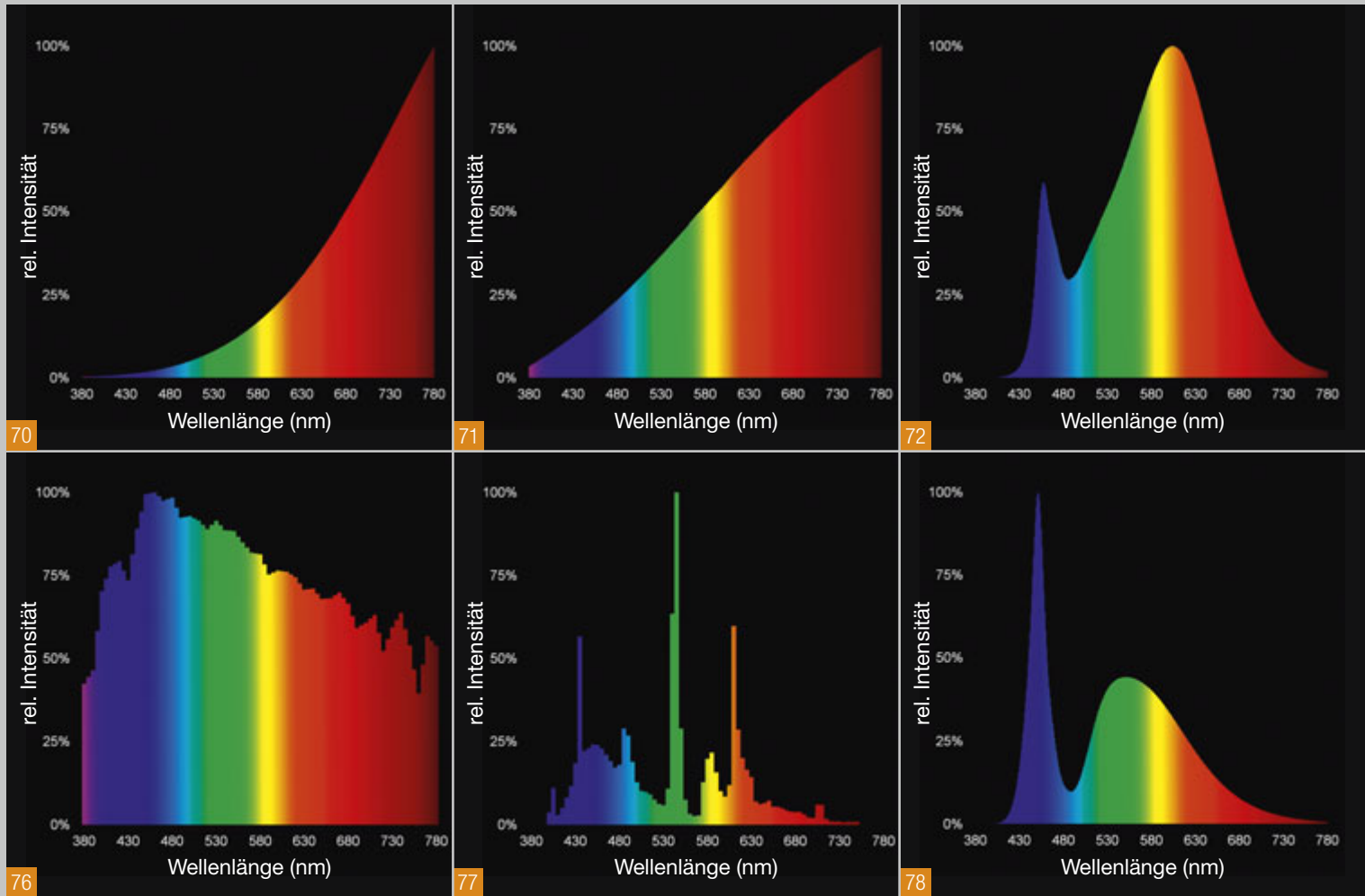
Außerdem sollten in den Abendstunden eher spotartige, direkt- und nicht großflächig strahlende Leuchten angeschaltet sein. Dies gilt auch für das Leselicht am Bett. Wer abends gerne lange vor dem Computer sitzt, sollte seinen Bildschirm prüfen: Moderne LED-Bildschirme haben in der Regel hohe Blauanteile, die aktivierend wirken. Besser ist es deshalb, den PC zwei Stunden vor dem Zubettgehen auszuschalten oder den Bildschirm entsprechend einzustellen.

Viele LED-Leuchten und -Lampen bieten heute unterschiedliche Weißlicht-Nuancen und auch farbiges Licht. Ausgestattet mit einer digitalen Steuerung, kann die Beleuchtung so auch zu Hause für das richtige Licht zur richtigen Zeit sorgen.

[65] Tageslichtweißes Licht mit hohen Beleuchtungsstärken bringt den Körper morgens im Badezimmer in Schwung.

[66 – 68] Das richtige Licht zur richtigen Zeit: tagsüber belebend, abends entspannend.

[69] Lichtwecker simulieren den Sonnenaufgang: Der Mensch erwacht auf natürliche Weise und fühlt sich frisch.



Hinweis: Die Angabe der Spektralbereiche erfolgt in relativen Werten

Das Spektrum der Lichtquellen

Bei der Planung einer biologisch wirksamen Beleuchtung in Innenräumen spielt das Spektrum der eingesetzten Leuchtmittel eine wichtige Rolle. Eine Metrik macht die melanopische Wirkung von Lichtquellen vergleichbar.

Ein wichtiges Kriterium bei der Planung biologisch wirksamer Beleuchtung ist die Lichtfarbe. Sie wird als ähnlichste Farbtemperatur in der Einheit Kelvin (K) angegeben und charakterisiert das farbliche Aussehen des Lichts einer Lichtquelle. Die Lichtfarbe des Himmels variiert überwiegend zwischen 6.000 und 10.000 Kelvin.

Besonders stark reagieren die melanopsin-haltigen Fotorezeptoren im menschlichen Auge auf blaues Licht. Der Bereich höchster Empfindlichkeit liegt bei einer Wellenlänge von 480 Nanometer. Lichttechniker sprechen hier auch vom Aktionsspektrum: Es kennzeichnet eine spektrale Bandbreite, die eine bestimmte Wirkung im menschlichen Körper auslöst. Durch den Einsatz der geeigneten Lichtfarbe zur richtigen Zeit lässt sich – im Zusammenspiel mit der passenden Beleuchtungsstärke – der Rhythmus des Menschen gezielt unterstützen.

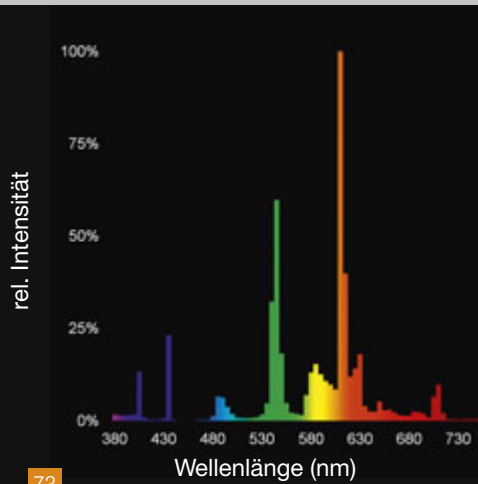
Metrik für die Lichtplanung

Für die Bewertung der biologischen Wirksamkeit von Lichtquellen wird heute das Aktionsspektrum des Melanopsin-Fotorezeptors für die circadiane Wirkungsfunktion $s_{mel}(\lambda)$ (siehe Grafik 26, Seite 21) zugrunde gelegt. Diese Wirkungsfunktion und die $v(\lambda)$ -Kurve, die der Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges entspricht, bilden die Basis für die in DIN SPEC 5031-100 beschriebene Metrik zur vergleichenden Bewertung der Spektren von Lichtquellen.

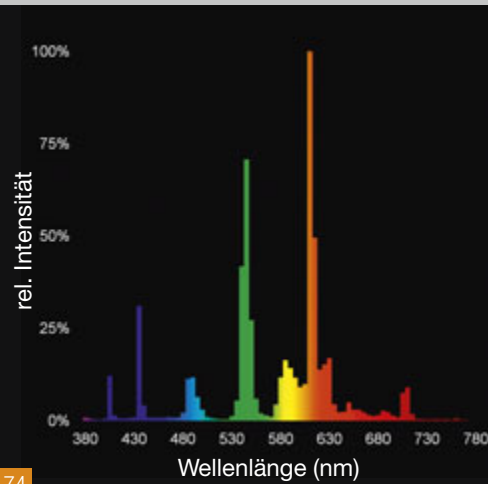
Eine Bewertungsgröße heißt melanopischer Wirkungsfaktor $a_{mel, v}$. Dieser Wirkungsfaktor beschreibt das Verhältnis der Strahlungsleistungen einer Lichtquelle für biologische und visuelle Wirkungen. Da der melanopische Wirkungsfaktor wenig anschaulich ist, wird auch eine „melanopisch bewertete lichttechnische Größe“, z. B. der Lichtstrom, bestimmt. Diese Größe bezieht sich auf das

Tageslicht (D65) als Referenz und ist so definiert, dass beim standardisierten Tageslichtspektrum D65 die visuell (photopisch) bewertete Größe genau gleich der melanopisch bewerteten Größe ist. Zum Beispiel entsprechen 1.000 Lux (lx) Beleuchtungsstärke mit D65 auch einer melanopischen Beleuchtungsstärke von 1.000 lx. Für andere Lichtquellen ist in den genannten Beispielen der melanopische Lichtstrom angegeben, der sich bei einem Lichtstrom von 1.000 Lumen (photopisch) ergibt. Der Korrekturfaktor entspricht dem Quotienten aus dem melanopischen Wirkungsfaktor der Lichtquelle und dem melanopischen Wirkungsfaktor für D65, der 0,906 beträgt. Die melanopische Größe ist somit die dem Tageslicht entsprechende Größe einer anderen Lichtquelle.

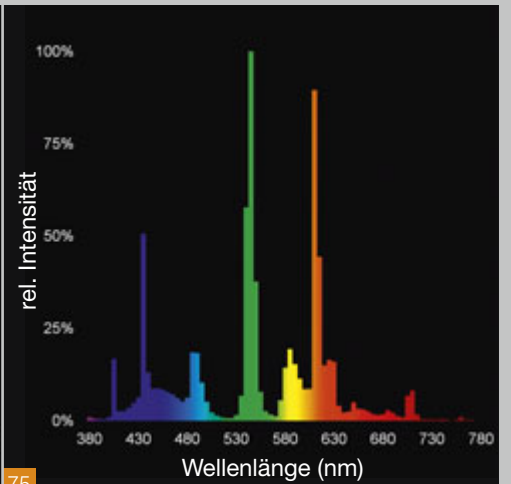
Lichtplaner ziehen diese Messgrößen heran, um unterschiedliche Lampentypen



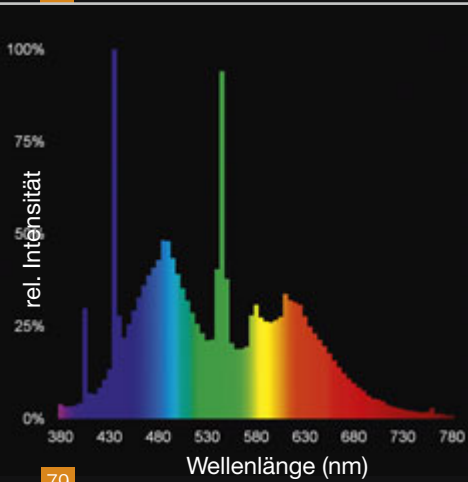
73



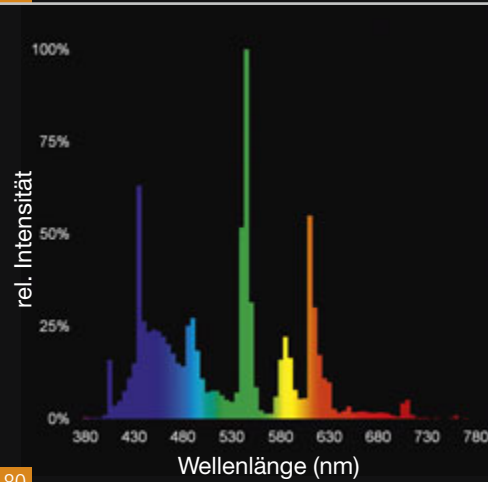
74



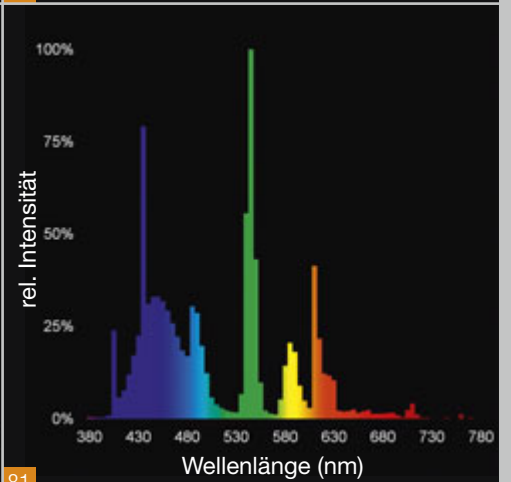
75



79



80



81

intelligent zu kombinieren und so zu steuern, dass sie ein biologisch wirksames Beleuchtungskonzept ergeben, das sich mit wechselnden Beleuchtungsstärken und Lichtfarben am dynamischen Verlauf des Tageslichts orientiert.

Auswahl der Lichtquellen

Für eine aktivierende Beleuchtung, wie sie vor allem morgens gewünscht ist, eignen sich die blauen, kurzwelligeren Anteile kühlweißen Lichts mit einer Farbtemperatur ab 6.000 Kelvin, besser noch darüber. Lichtquellen mit diesem Spektrum können die innere Uhr des Menschen stabilisieren, wirken anregend und können die Konzentration steigern. Abends sollten wärmere Lichtfarben unter 3.300 Kelvin mit keinen oder nur geringen Blauanteilen den Körper auf die Nacht einstimmen. Sie gewährleisten die ungehinderte Produktion von Melatonin, so dass der Mensch besser schlafen kann.

[70] Das Spektrum der Flamme einer Kerze ist kontinuierlich mit hohen Rotanteilen und sehr viel Infrarot-Wärmestrahlung ($a_{\text{mel}, v} = 0,26$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 288 lx)

[71] Spektrum einer Halogenlampe: kontinuierliches Spektrum mit hohem Rotanteil ($a_{\text{mel}, v} = 0,47$; melanopische Lumen: 520 lx)

[72] LEDs mit warmweißer Lichtfarbe und hoher Farbwiedergabe geben hohe Rotanteile, aber kein Infrarot ab ($a_{\text{mel}, v} = 0,46$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 506 lx)

[73] Lichtfarbe 825 von Leuchtstofflampen: ähnelt im Erscheinungsbild dem Warmton einer gedimmten Glühlampe und hat eine sehr geringe biologische Wirkung ($a_{\text{mel}, v} = 0,25$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 278 lx)

[74] Lichtfarbe 827: glühlampenähnliches Licht von Leuchtstofflampen mit geringer biologischer Wirkung ($a_{\text{mel}, v} = 0,32$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 354 lx)

[75] Lichtfarbe 840 von Leuchtstofflampen: neutralweißes Licht ($a_{\text{mel}, v} = 0,50$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 547 lx)

[76] Tageslicht bietet ein kontinuierliches Spektrum mit hohen Blauanteilen und hoher biologischer Wirkung ($a_{\text{mel}, v} = 0,91$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 1.000 lx)

[77] Lichtfarbe 965 für Lichttherapie: Tageslichtweiß von speziellen Leuchtstofflampen mit erhöhtem Blauanteil ($a_{\text{mel}, v} = 0,83$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 914 lx)

[78] LEDs mit kühler Lichtfarbe haben einen hohen Blauanteil im biologisch wirksamen Bereich ($a_{\text{mel}, v} = 0,73$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 805 lx)

[79] Lichtfarbe 965 optimiert für höchste Farbwiedergabe: tageslichtweißes Licht von Leuchtstofflampen ($a_{\text{mel}, v} = 0,96$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 1.058 lx)

[80] Lichtfarbe 880: Tageslichtweiß von Leuchtstofflampen mit erhöhtem Blauanteil ($a_{\text{mel}, v} = 0,87$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 957 lx)

[81] Leuchtstofflampe mit 17.000 Kelvin Farbtemperatur: höherer Blauanteil als Tageslicht, entsprechend erhöhte biologische Wirkung ($a_{\text{mel}, v} = 1,00$; melanopische Beleuchtungsstärke bei 1.000 lx photopisch: 1.108 lx)



82

Ausblick: Wissen weitergeben und weiter forschen

Die Erkenntnisse der Forschung zur Bedeutung der nicht-visuellen Effekte von Licht auf den Menschen haben in den vergangenen Jahrzehnten eine enorme Steigerung erfahren. Die wesentlichen Wirkprinzipien sind gut bestätigt, und marktaugliche Konzepte für adaptive Lichtsysteme sind vorhanden. Nun ist es notwendig, die Erkenntnisse in die berufliche Bildung und in den Markt zu bringen.

Licht ist heute nicht mehr nur Beleuchtung für gutes Sehen, sondern es ist mittlerweile wissenschaftlich gut belegt, dass Licht eher einen Teil unserer Ernährung darstellt. Licht hat, wie die tägliche Nahrung, ähnlich positive wie negative Aspekte – von der Winterdepression bei zu wenig Sonnenlicht bis zu Hautkrebserkrankungen bei zu viel Sonnenlicht. Künstliches Licht zur richtigen Zeit mit richtigem Spektrum kann zu wenig vorhandenes natürliches Licht effektiv ausgleichen.

Allerdings ist ein regelmäßiger, nicht unterbrochener Tag-Nacht-Rhythmus – oder besser der Licht-Dunkel-Rhythmus – ein entscheidender Faktor für unser Wohlbefinden und für den Erhalt der Gesundheit. Fal-

sches Licht zur falschen Zeit führt erwiesenermaßen zur Störung der hormonellen Rhythmen des Menschen. Langjährig ausgeübte Schichtarbeit mit regelmäßiger Unterbrechung des natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus ist von der WHO sogar als vermutlich krebserregend eingestuft worden.

Neue Impulse für die Gesundheitsprävention

So werden sich in der Zukunft anpassende oder adaptive Lichtsysteme immer mehr als wesentlich für die Gesunderhaltung des Menschen herausstellen. Von der stimungsaufhellenden Lichtdusche am Morgen bis zum schlafferhaltenden Leselicht



am Abend im privaten Bereich oder der biodynamischen Arbeitsplatzbeleuchtung für 24-Stunden-Kunstlichtarbeitsplätze als Teil des betrieblichen Gesundheitsmanagements: Moderne Lichtanlagen werden neue Impulse für die Gesundheitsprävention geben.

Wie auch bei der Ernährung gibt es individuell unterschiedliche Anforderungen an die Menge und Zeit der Einnahme. Zukünftige Lichtsysteme werden individualisierbar, aber auch massentauglich sein (mass customisation) und die individualisierte Lichtdosis entsprechend den Bedürfnissen des Nutzers abgeben. Nichtstörende ambiente und körpernahe Sensorik kann dabei helfen.

„Assistive Technologie“

Aus der dynamischen Beleuchtung wird „Assistive Technologie“, die zur Gesunderhaltung des Menschen eingesetzt werden kann. Möglich wird das vor allem auch mit energiesparender LED-Technik, die eine sinnvolle Verknüpfung mit der Einsparung von CO₂ bietet. Reines Energieeffizienzdenken ist allerdings nicht angebracht. Die Nut-

zung der nicht-visuellen Wirkungen von Licht, die bisher nicht beachtet wurden, gibt es nicht zum Nulltarif. Hier gilt es, zwischen den Bedürfnissen des Menschen und der Einsparung von Energie sinnvoll abzuwägen.

Um den Markt voranzubringen und die wichtigen empirischen Erkenntnisse aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern zu erhalten, ist es nun wichtig, die Breitenbildung intensiv auszubauen. Aber nicht nur Lichtplaner, Architekten, Energieberater und Elektrohandwerker sollten als Fachleute zur Planung dieser Lichtanlagen weitergebildet werden. Es ist auch eine gesellschaftliche Aufgabe, in Schulen und Betrieben über die neuen Erkenntnisse der Wirkung von Licht auf die Hormone, aber auch über „Lichthygiene“ – das heißt dem notwendigen Nichtvorhandensein von Licht – aufzuklären.

*Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Herbert Plischke
Hochschule München
Fakultät für angewandte
Naturwissenschaften und Mechatronik*

[82] Über den Dächern von Wien: Auch die Forschung beweist Weitsicht. Wo immer sich Menschen in geschlossenen Räumen aufhalten, sollen sie in dem, was sie tun, künftig durch Licht unterstützt werden.

Glossar

Ähnlichste Farbtemperatur – Die Lichtfarbe einer Lampe wird durch die ähnlichste Farbtemperatur in Kelvin (K) beschrieben. Niedrige Farbtemperaturen (z. B. 2.700 K) beschreiben warme, gelb-röt-weiß erscheinende Lichtfarben, wie Kerzen, Halogen-glühlampen und andere Temperaturstrahler sowie warmweiße LEDs. Hohe Farbtemperaturen beschreiben kalte, also mehr weiß-blaue Lichtfarben, wie das Tageslicht mit etwa 6.500 K (bedeckter Himmel).

Aktionsspektrum – Spektrale Empfindlichkeit für eine durch Licht ausgelöste Wirkung. Das Maximum des Aktionsspektrums des dritten Rezeptors (→ Dritter Rezeptor) liegt bei etwa 480 Nanometer, also im blauen Bereich des für den Menschen sichtbaren Spektrums.

Adrenalin – Hormon mit anregender Wirkung zum Beispiel auf Herz, Kreislauf oder Atmung. Produziert wird es im Kern der Nebenniere.

Alzheimer – Diese Krankheit ist die häufigste Form der Demenzerkrankung. Sie geht mit einer fortschreitenden Abnahme des Gehirnvolumens einher.

Beleuchtungsstärke – Die Beleuchtungsstärke (Kurzzeichen: E, Maßeinheit: Lux) definiert, wie viel Licht – lichttechnisch genauer: wie viel Lichtstrom (in Lumen) – auf eine bestimmte Fläche fällt: Sie beträgt ein Lux, wenn der Lichtstrom von einem Lumen einen Quadratmeter Fläche gleichmäßig ausleuchtet.

Bemessungsleistung einer Leuchte – Dies ist die Wirkleistung der Leuchte (in Watt), gemessen bei Nennspannung. Dieser Wert wird für die Planung der Energieaufnahme der Leuchte verwendet und umfasst die Leistungsaufnahme aller in der Leuchte eingebauten und für deren Betrieb erforderlichen Komponenten (einschließlich Betriebsgerät).

Bemessungslichtstrom einer Leuchte – Der Bemessungslichtstrom (in Lumen) bezeichnet die gesamte Lichtleistung einer Leuchte, die im sichtbaren Bereich in alle Richtungen abgestrahlt wird. Der Bemessungs-

lichtstrom einer Leuchte ist der angegebene Neuwert des Lichtstroms, der von den Halbleiterlichtquellen in der Leuchte unter festgelegten Betriebsbedingungen emittiert wird.

Biologische Dunkelheit – Zustand, der beschreibt, dass der biologische Rhythmus des Menschen im modernen Alltag trotz normgerechter Beleuchtung nicht ausreichend durch biologisch wirksames Licht unterstützt wird.

Biorhythmus – Unspezifischer Begriff für einen natürlichen Rhythmus biologischer Zyklen bei Organismen.

Chronobiologie – Lehre von zeitlichen Zusammenhängen biologischer Prozesse.

Chronotyp – Die innere Uhr definiert den Chronotypus. Die beiden Extreme sind der Frühaufsteher (Lerche) und der Langschläfer (Eule) mit allen Abstufungen dazwischen. Der Chronotypus wird zusätzlich durch Geschlecht und Alter beeinflusst.

Circadianer Rhythmus – Biologischer Rhythmus mit einer Periode von etwa 24 Stunden (Lateinisch: circa = ungefähr, dies = Tag), wie zum Beispiel der Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen. Licht ist der wichtigste Zeitgeber (→ Zeitgeber) für den circadianen Rhythmus.

Cortisol (Hydrocortison) – Hormon mit anregender Wirkung auf verschiedene Körperfunktionen („Stresshormon“).

Demenz – Krankhafte Form des Nachlassens geistiger Fähigkeit, zumeist bei älteren Menschen.

Depression – Krankhaft gedrückte Stimmung, die der Therapie bedarf.

Dritter Rezeptor – Melanopsinhaltige Sinneszellen (Ganglienzellen), die im blauen Spektralbereich sensibel sind und Helligkeitsinformationen an den SCN (Suprachiasmatischer Nucleus) und die Zirbeldrüse im Zentralnervensystem übermitteln.

Epiphyse – Hormonproduzierende Drüse zwischen dem Groß- und Kleinhirn (→ Zirbeldrüse). Sie erzeugt das „Schlafhormon“ Melatonin, das sie bei Dunkelheit ins Blut ausschüttet.

Farbwiedergabe(-Index) – Er kennzeichnet, wie gut Farben im Licht einer Lampe wiedergegeben werden. Der allgemeine Farbwiedergabe-Index (R_a) ist von acht häufig vorkommenden Testfarben abgeleitet. $R_a = 100$ steht für den höchsten Wert. Für die meisten Anwendungen in Räumen sollte der $R_a \geq 80$ sein.

Ganglienzellen – Nervenzellen in einem Ganglion (Nervenzellknoten), die visuelle Informationen der Netzhaut über den Sehnerv ins Gehirn weiterleiten. Zwei bis drei Prozent der Ganglienzellen sind selbst lichtempfindlich. Sie enthalten das Pigment Melanopsin und lösen biologische Reaktionen im Körper aus.

Gesichtsfeld – Bereich der Umwelt, der vor den Augen liegt und ohne Augenbewegung auf der Netzhaut abgebildet werden kann.

Hypophyse (Hirnanhangdrüse) – Sie reguliert den Hormonhaushalt des Körpers, indem sie selbst Hormone produziert oder durch Botenstoffe andere Organe dazu veranlasst.

Hypothalamus – Das wohl wichtigste Steu-erzentrum des vegetativen Nervensystems sitzt im Zwischenhirn und regelt über den suprachiasmatischen Nucleus (SCN) auch die circadiane Rhythmik des Menschen.

Infradianer Rhythmus – Rhythmus mit einer Spanne von mehr als 24 Stunden.

Innere Uhr – Auch Master Clock genannt, synchronisiert die innere Uhr den Körper mit dem äußeren Tag. Sie liegt im suprachiasmatischen Nucleus. Licht ist somit der wichtigste Zeitgeber für die innere Uhr. Sie taktet über Hormone und Botenstoffe die vielen kleinen Uhren in Körperzellen, die keine direkte Verbindung zur Umwelt haben.

Intrinsisch – Im Inneren des Organismus entstanden, nicht durch Umgebungsfaktoren verursacht.

ipRGC (intrinsisch lichtempfindliche Ganglienzellen) → siehe Ganglienzellen

LEDs (Licht emittierende Dioden) – Elektronische Halbleiter, die unter Spannung Licht in den Farben Rot, Grün, Gelb oder

Blau abgeben. Mit Hilfe einer zusätzlichen Leuchtschicht kann etwa mit blauen LEDs weißes Licht erzeugt werden.

Leuchtdichte – Die Leuchtdichte (Kurzzeichen: L) ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat. Gemessen wird die Leuchtdichte in Lichtstärke pro Flächeneinheit (cd/m^2).

Leuchten-Lichtausbeute – Der Quotient aus dem von einer Leuchte abgegebenen Lichtstrom in Lumen (lm) und der zuvor aufgenommenen Leistung in Watt (W) ist ein Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Leuchte. Je höher das Verhältnis Lumen/Watt ist, desto besser setzt eine Leuchte die eingebrachte Energie in Licht um.

Lichtfarbe – Die Lichtfarbe beschreibt das farbliche Aussehen des Lichts einer Lampe und wird durch die Farbtemperatur in Kelvin (K) charakterisiert: Trotz gleicher Lichtfarbe können Lampen aufgrund der spektralen Zusammensetzung ihres Lichts eine sehr unterschiedliche Farbwiedergabe haben.

Lichttherapie – Bestrahlung von Patienten mit biologisch wirksamem Licht (auch ultraviolett oder infrarot) zur Behandlung von Krankheiten. Das Licht wird vor allem bei Hautkrankheiten oder Depressionen eingesetzt.

Lichtrezeptor – Lichtempfindliche Sinneszellen, die auf sie treffende Lichtquanten (Photonen) als elektrische Signale ins Nervensystem weiterleiten. In der Netzhaut des menschlichen Auges sind dies Zapfen, Stäbchen und melanopsinhaltige Ganglienzellen. Zapfen sind für das farbige Sehen verantwortlich. Stäbchen ermöglichen das Sehen bei geringen Beleuchtungsstärken, denn sie sind lichtempfindlicher als Zapfen. Die melanopsinhaltigen Ganglienzellen sind keine Sehzellen. Sie übermitteln Helligkeitsinformationen an das Zentralnervensystem und steuern damit die innere Uhr.

Lichtstrom – Der Lichtstrom (Kurzzeichen: Φ), Maßeinheit: Lumen (lm), ist die Lichtleistung einer Lampe. Er beschreibt die von der Lichtquelle in alle Richtungen abgegebene Strahlungsleistung im sichtbaren Bereich.

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

Melanopsin – Lichtempfindlicher Farbstoff in den retinalen Ganglienzellen. Sein Wirkungsspektrum dient der Beschreibung nicht-visueller Effekte des Lichts über das Auge. Seine maximale Empfindlichkeit liegt bei etwa 480 Nanometer – also im blauen Spektralbereich.

Melanopischer Wirkungsfaktor – ist ein Maß für die circadiane Wirkung einer Lichtquelle (Formel ist beschrieben in der DIN SPEC 5031-100:2014).

Melatonin – Hormon, das dem menschlichen Körper „Nachtruhe“ signalisiert und ihn ermüden lässt. Auch als „Schlafhormon“ bezeichnet, wird es in der Epiphyse aus Serotonin gewonnen und in der Nacht freigesetzt. Es kann durch Licht in der Nacht gehemmt werden.

Monochromatisches Licht – Licht nur einer Wellenlänge, das beim Menschen einen Farbeindruck erzeugt

Netzhaut – Zellschicht in der hinteren Augewand; auf ihr sitzen die Sehzellen (Zapfen und Stäbchen), die den Lichtreiz zu visuellen Nervenimpulsen verarbeiten. Diese Impulse wiederum werden über die Ganglienzellen ins Gehirn weitergeleitet. Auch die melanopsinhaltigen Ganglienzellen (dritter Rezeptor) sitzen in der Netzhaut. Sie geben ihre Impulse aber nicht als visuelle Information über den Sehnerv ins Zwischenhirn weiter, sondern als biologische über den retinohypothalamischen Trakt.

Photopisches Sehen – Tagsehen (vor allem mit den Zapfen im Auge), das mittlere Leuchtdichten ab etwa $3 \text{ cd}/\text{m}^2$ erfordert.

Retinohypothalamischer Trakt – Nervenverbindung zwischen der Netzhaut und dem Suprachiasmatischen Nucleus (SCN) im Zwischenhirn, über den die melanopsinhaltigen Ganglienzellen (dritter Rezeptor) Lichtreize als biologische Informationen weiterleiten.

SAD (Saisonal abhängige Depression) – (engl. seasonal affective disorder) Krankhaft

ausgeprägte Verstimmung meist bei Lichtmangel während der Wintermonate, die lichttherapeutisch behandelt werden kann. Im Frühjahr klingen die Symptome automatisch ab.

Sehnerv – Nervenverbindung, über die Stäbchen und Zapfen visuelle Informationen von der Netzhaut ins Gehirn weiterleiten.

Serotonin – Botenstoff, der Signale zwischen Nervenzellen überträgt und stimmungsaufhellend wirkt. Seine Produktion wird durch Tageslicht angeregt. Nachts wandelt die Epiphyse das Serotonin biochemisch in Melatonin um.

Skotopisches Sehen – Nachtsehen (mit den Stäbchen im Auge) bei Leuchtdichten unter $1 \text{ cd}/\text{m}^2$.

SCN (Suprachiasmatischer Nucleus) – Ansammlung einiger tausend Nervenzellen, deren Rhythmen durch das Tageslicht täglich synchronisiert werden. Er liegt oberhalb (supra) der Kreuzung der Sehnerven (Chiasma opticum) und gilt als Schaltzentrale der inneren Uhr (Master Clock), die die biologischen Prozesse im Körper zeitlich koordiniert.

Social Jetlag – Der Unterschied zwischen äußeren (sozialen) Zeitgebern und der inneren Uhr. Dieser Unterschied führt langfristig zu Schlafmangel mit all seinen negativen Folgen.

Stäbchen → siehe Lichtrezeptor

Ultradianer Rhythmus – Rhythmus mit einer Spanne von weniger als 24 Stunden, zum Beispiel Schlafphasen.

Zapfen → siehe Lichtrezeptor

Zeitgeber – Zeitgeber sind Einflussgrößen, die sich auf die innere Uhr auswirken. Wichtigster Zeitgeber ist Licht, das über den dritten Rezeptor im Auge den Suprachiasmatischen Nucleus (SCN) beeinflusst. Der SCN wiederum taktet als Master Clock die circadianen Rhythmen einzelner Zellen und koordiniert ihre Funktionen. Daneben gibt es auch soziale Zeitgeber wie Arbeitszeiten.

Zirbeldrüse → siehe Epiphyse

Normen und Literatur

DIN EN 12464-1 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen

DIN EN 12464-2 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 2: Arbeitsplätze im Freien

DIN 5035-7 Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

DIN EN 12665 Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung

DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

DIN EN 15193 Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung

DIN SPEC 5031-100 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, nicht-visuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren

DIN SPEC 67600 Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen. Dieses Dokument gibt Planungsempfehlungen für Lebensräume, die Arbeitsstätten oder Nichtarbeitsstätten sein können. Eingeschlossen sind auch Bereiche, in denen sich die Nutzungen überlagern oder mischen können.

ASR A3.4 Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung

Barkmann, C., N. Wessolowski, et al., Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & Behavior*, 2011. 105(3): 621-627.

Berson, D.M., F.A. Dunn and M. Takao, Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 2002. 295(5557): p. 1070-3.

Brainard, G.C., et al., Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*, 2001. 21(16): p. 6405-12.

Cajochen, C., Alerting effects of light. *Sleep Med Rev*, 2007. 11(6): p. 453-64.

Cajochen, C., R.D. Biase and M. Imai, Interhemispheric EEG asymmetries during unilateral bright-light exposure and subsequent sleep in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2008. 294(3): p. R1053-60.

Cajochen, C., et al., Evening exposure to blue light stimulates the expression of the clock gene PER2 in humans. *Eur J Neurosci*, 2006. 23(4): p. 1082-6.

Cajochen, C., et al., High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J Clin Endocrinol Metab*, 2005. 90(3): p. 1311-6.

Figueiro, M.G., M.S. Rea and J.D. Bullough, Circadian effectiveness of two polychromatic lights in suppressing human nocturnal melatonin. *Neurosci Lett*, 2006. 406(3): p. 293-7.

Gall, D., Die Messung circadianer Strahlungsgrößen, Tagungsband Licht und Gesundheit, 2004: Berlin. p. 17.

Gall, D. and Bieske, K., Definition and measurement of circadian radiometric quantities, in *CIE Symposium '04: Light and Health: non-visual effects*. 2004. University of Performing Arts, Vienna: CIE.



- Glickman, G., et al.,** Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans. *J Biol Rhythms*, 2003. 18(1): p. 71-9.
- Glickman, G., et al.,** Light therapy for seasonal affective disorder with blue narrow-band light-emitting diodes (LEDs). *Biol Psychiatry*, 2006. 59(6): p. 502-7.
- Hanifin, J.P. and G.C. Brainard,** Photoreception for circadian, neuroendocrine, and neurobehavioral regulation. *J Physiol Anthropol*, 2007. 26(2): p. 87-94.
- Juslén, Henri und Fassian, Matthias,** Beleuchtung, Produktivität und Wohlbefinden – wissenschaftliche Studien in industrieller Umgebung, Tagungsband zur LICHT 2004 Dortmund (Langfassung auf der CD-Rom unter „Licht und Gesundheit“).
- Leprout, R., et al.,** Transition from dim to bright light in the morning induces an immediate elevation of cortisol levels. *J Clin Endocrinol Metab*, 2001. 86(1): p. 151-7.
- Lockley, S.W., G.C. Brainard and C.A. Czeisler,** High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *J Clin Endocrinol Metab*, 2003. 88(9): p. 4502-5.
- Lockley, S.W., et al.,** Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep*, 2006. 29(2): p. 161-8.
- Lucas, R. J., S. N. Peirson, et al.,** Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci*, 2014. 37(1): 1-9.
- Mills, P.R., S.C. Tomkins and L.J. Schlagen,** The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *J Circadian Rhythms*, 2007. 5: p. 2.
- Mollenkopf, H. und Heeg S.,** Gute Praxis: Hüfingen – Therapeutisch wirksames Licht im Pflegeheim. *DeSS orientiert*, 2010. 1(10): p. 52-57.
- Panda, S., et al.,** Melanopsin (Opn4) requirement for normal light-induced circadian phase shifting. *Science*, 2002. 298(5601): p. 2213-6.
- Panda, S., et al.,** Illumination of the melanopsin signaling pathway. *Science*, 2005. 307(5709): p. 600-4.
- Piäzena, H.,** Steuerung der Melatonin-suppression durch Licht – Grundlagen, Charakterisierung und Risikobewertung, in 2. DIN Expertenforum Wirkung des Lichts auf den Menschen, DIN, Editor. 2008, Beuth Verlag: Berlin. p. 23-26.
- Pulivarthy, S.R., et al.,** Reciprocity between phase shifts and amplitude changes in the mammalian circadian clock. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2007. 104(51): p. 20356-61.
- Riemersma-van der Lek, R.F., et al.,** Effect of bright light and melatonin on cognitive and noncognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial. *JAMA*, 2008. 299(22): p. 2642-55.
- Ruger, M., et al.,** Nasal versus temporal illumination of the human retina: effects on core body temperature, melatonin, and circadian phase. *J Biol Rhythms*, 2005. 20(1): p. 60-70.
- Schumann, Sabine und Vamberszky, Klaus,** Vigilanzsteigerung und Förderung des emotionalen Wohlbefindens durch dynamische Lichtführung im Büro, Zumtobel Lighting GmbH, Dornbirn, 2007
- Staedt, J.,** Kann Licht die Liegedauer in der Psychiatrie beeinflussen, in 2. DIN Expertenforum Wirkung des Lichts auf den Menschen, DIN, Editor. 2008, Beuth Verlag: Berlin. p. 39-42.
- Staedt, J., et al.,** Einfluss erhöhter Lichtintensität auf die Verweildauer von stationär behandelten depressiven Patienten. *Nervenheilkunde*, 2009. 28(4): p. 223-226.
- Takasu, N.N., et al.,** Repeated exposures to daytime bright light increase nocturnal melatonin rise and maintain circadian phase in young subjects under fixed sleep schedule. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2006. 291(6): p. R1799-807.
- Thapan, K., J. Arendt and D.J. Skene,** An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol*, 2001. 535(Pt 1): p. 261-7.
- Vandewalle, G., et al.,** Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cereb Cortex*, 2007. 17(12): p. 2788-95.
- Vandewalle, G., et al.,** Brain responses to violet, blue, and green monochromatic light exposures in humans: prominent role of blue light and the brainstem. *PLoS ONE*, 2007. 2(11): p. e1247.
- Van Someren, E.J.,** A randomized clinical trial on the effect of long-term whole-day bright light exposure in elderly residents, in 2. DIN Expertenforum Wirkung des Lichts auf den Menschen, 2008. Berlin: Beuth Verlag.
- Vetter, C., M. Juda, et al.,** Blue-enriched office light competes with natural light as a zeitgeber. *Scand J Work Environ Health*, 2011. 37(5): 437-45.
- Wirz-Justice, A. and J. Staedt,** Lichttherapie – nicht nur bei Winterdepression. *Schweiz Zeitschr Psychiatrie Neurol*, 2008. 8(1): p. 25-31.
- Zaidi, F.H., et al.,** Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Curr Biol*, 2007. 17(24): p. 2122-8.

Die Schriftenreihe von licht.de

Jedes Heft!

€ 10,-



licht.wissen 01

Die Beleuchtung mit künstlichem Licht

60 Seiten Grundlagen: Heft 01 vermittelt allgemein verständlich und herstellerneutral die Grundlagen moderner Beleuchtungstechnik. Es ist der Auftakt zu insgesamt 20 „licht.wissen“-Heften.



[licht.wissen 02] Besser lernen mit gutem Licht: Heft 02 erklärt auf 56 Seiten, wie eine optimale Beleuchtung Lernende unterstützen kann. Die Broschüre stellt effiziente Lösungen für Bildungsstätten vor und erläutert lichttechnische Begriffe.



[licht.wissen 04] Eine optimale Beleuchtung im Büro fördert das Wohlbefinden und spart Energie- und Wartungskosten. Heft 04 stellt auf 56 Seiten Anwendungen vor und erklärt, welche Normen beachtet werden müssen.



[licht.wissen 07] Im Gesundheitswesen muss die Beleuchtung hohen Ansprüchen gerecht werden. Heft 07 nennt relevante Vorschriften und zeigt auf 64 Seiten, wie Licht zur Genesung beitragen kann und den Sehkomfort am Arbeitsplatz erhöht.



[licht.wissen 14] 60 Seiten Anregungen für individuelle Beleuchtungskonzepte. Die Gliederung des Heftes folgt einem Hausrundgang. Fünf Spezialkapitel erklären lichttechnische Grundbegriffe, „Licht-Tipps“ ergänzen die Anwendungskapitel.

licht.wissen – per Post oder als kostenfreie PDF-Datei (Download) unter www.licht.de/lichtwissen

- | | | |
|--|---|---|
| 01 Die Beleuchtung mit künstlichem Licht (2008) | 08 Sport und Freizeit (2010) | 15 Gute Beleuchtung rund ums Haus (2009) |
| 02 Besser lernen mit gutem Licht (2012) | 09 Sanierung in Handel, Gewerbe und Verwaltung (2014) | 16 Stadtmarketing mit Licht (2010) |
| 03 Straßen, Wege und Plätze (2014) | 10 Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (2012) | 17 LED: Das Licht der Zukunft (2010) |
| 04 Licht im Büro, motivierend und effizient (2012) | 11 Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie (2005) | 18 Gutes Licht für Museen, Galerien, Ausstellungen (2006) |
| 05 Industrie und Handwerk (2009) | 12 Beleuchtungsqualität mit Elektronik (2003) | 19 Wirkung des Lichts auf den Menschen (2014) |
| 06 Shopbeleuchtung, attraktiv und effizient (2011) | 13 Arbeitsplätze im Freien (2007) | 20 Nachhaltige Beleuchtung (2014) |
| 07 Gesundheitsfaktor Licht (2012) | 14 Ideen für Gutes Licht zum Wohnen (2009) | |

All booklets are available in English as PDFs, free download at www.licht.de/en

Alles über Beleuchtung!

Herstellerneutrale Informationen

licht.de informiert über die Vorteile guter Beleuchtung. Die Fördergemeinschaft Gutes Licht hält zu allen Fragen des künstlichen Lichts und seiner richtigen Anwendung umfangreiches Informationsmaterial bereit. Die Informationen sind herstellerneutral und basieren auf den relevanten technischen Regelwerken nach DIN und VDE.

licht.wissen

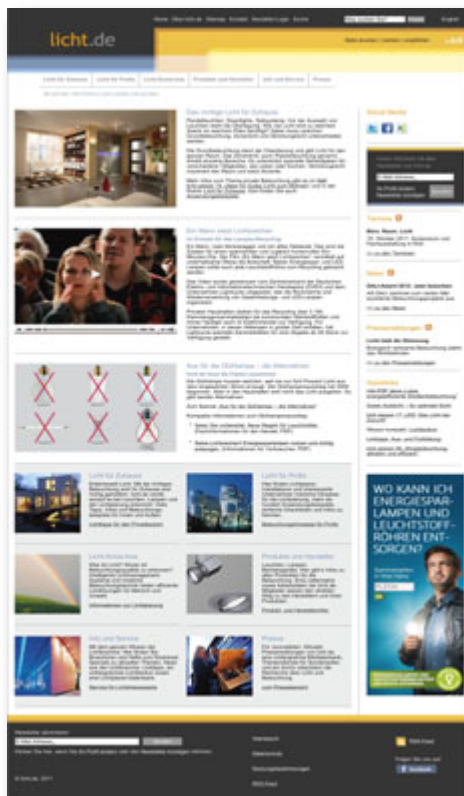
Die Hefte 1 bis 20 der Schriftenreihe licht.wissen geben Informationen zur Lichtanwendung. Diese Themenhefte erläutern anhand vieler Beleuchtungsbeispiele lichttechnische Grundlagen und zeigen beispielhafte Lösungen. Sie erleichtern damit auch die Zusammenarbeit mit Fachleuten der Licht- und Elektrotechnik. Alle lichttechnischen Aussagen sind grundsätzlicher Art.

licht.forum

licht.forum behandelt aktuelle Fragen der Lichtanwendung und stellt Beleuchtungstrends vor. Diese kompakten Fachinformationen erscheinen in loser Folge.

www.licht.de

Ihr umfangreiches Lichtwissen präsentiert die Fördergemeinschaft auch im Internet unter www.licht.de. Architekten, Planer, Installateure und Endverbraucher finden hier auf rund 5.000 Seiten praxisorientierte Tipps, viele Lichtanwendungen und aktuelle Informationen zu Licht und Beleuchtung. Eine Datenbank mit umfangreichen Produktübersichten weist den direkten Weg zum Hersteller.



www.twitter.com/licht_de
www.twitter.com/all_about_light



www.facebook.com/lichtde

Impressum

Herausgeber

licht.de
Fördergemeinschaft Gutes Licht
– eine Brancheninitiative des ZVEI e.V. –
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main
Tel. 069 6302-353, Fax 069 6302-400
licht.de@zvei.org, www.licht.de

Redaktion und Gestaltung:

r.f.w. kommunikation, Darmstadt

Druck

E&B engelhardt und bauer Druck und Verlag,
Karlsruhe

ISBN-Nr. Druckausgabe 978-3-926193-97-1
ISBN-Nr. PDF-Ausgabe 978-3-926193-98-8
März 2014 (03/14/10/19II)

Berücksichtigt wurden die bei Herausgabe gültigen DIN-Normen und VDE-Vorschriften, wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren jeweils aktuellste Fassung, erhältlich bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafengasse 6, 10787 Berlin.

Der komplette oder auszugsweise Nachdruck von licht.wissen 19 ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Bildnachweis

Bildnummern Rückseite

		84
85	86	87
88	89	90

Bilder

Titel: fotolia.com, Sebastian Kaulitzki;
[01] fotolia.com, drubig-photo; [03] fotolia.com, evgenyatamanenko; [04] photocase.com, daniell; [05] fotolia.com, 1xpert; [06] picture alliance, dpa; [09] fotolia.com, miiko; [12] fotolia.com, Jeanne Hatch; [14] fotolia.com, Lai Leng Yiap; [19] fotolia.com, Corbis; [83] fotolia.com, forgiss.

Alle anderen Bilder, Visualisierungen und Grafiken stammen von licht.de-Mitgliedsunternehmen oder wurden im Auftrag von licht.de angefertigt.



Gedruckt mit mineralölfreien Farben

licht.wissen 19
Wirkung des Lichts auf
den Menschen



licht.de

Förderungsgemeinschaft Gutes Licht
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Germany
Tel. +49 (0)69 63 02-353
Fax +49 (0)69 63 02-400
licht.de@zvei.org
www.licht.de