

ICS 17.180.20; 91.160.01

Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen

Biologically effective illumination –
Design guidelines

Effets biologiques de l'éclairage –
Conseils de conception

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln eines Fachberichts erstellt.

Gesamtumfang 68 Seiten

Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	8
2 Begriffe	8
3 Integrierende Planung	9
4 Zielgrößen.....	10
5 Kriterien für biologisch wirksame Beleuchtung.....	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Spektrale Zusammensetzung des Lichts	11
5.2.1 Allgemeines	11
5.2.2 Spektrale Bewertung von Lichtquellen	13
5.2.3 Veränderungen des Spektrums bei Transmission.....	13
5.2.4 Veränderungen des Spektrums bei Reflexion	17
5.3 Beleuchtungsstärke (Bestrahlungsstärke)	18
5.4 Geometrische Anordnung des Lichts.....	19
5.4.1 Allgemeines	19
5.4.2 Fläche und Raumwinkel	19
5.4.3 Lichtrichtung	19
5.5 Dynamik des Lichtes	20
5.5.1 Allgemeines	20
5.5.2 Der Tageszeit angepasstes Licht	20
5.5.3 Der Jahreszeit angepasstes Licht.....	21
5.5.4 Dauer der Lichtexposition	22
5.5.5 Spektrale und räumliche Verteilung des Lichts über die Zeit	22
5.5.6 Schnelle Lichtänderungen	22
5.6 Energieeffizienz biologisch wirksamer Beleuchtung.....	22
6 Planung spezieller Objekte	23
6.1 Allgemeines	23
6.2 Ausbildungsstätten und Schulen.....	24
6.2.1 Allgemeines	24
6.2.2 Allgemeine Unterrichtsräume.....	24
6.2.3 Erwachsenenbildung.....	25
6.3 Büros.....	26
6.3.1 Allgemeines	26
6.3.2 Büroräume.....	27
6.3.3 Konferenz- und Besprechungsräume.....	28
6.3.4 Pausenräume	28
6.3.5 Eingangsbereiche und Flure	28
6.4 Leitwarten	28
6.5 Alten- und Pflegeheime	29
6.5.1 Allgemeines	29
6.5.2 Zentrale Aufenthaltsbereiche und „Pflegeoasen“	29
6.5.3 Pflegezimmer.....	31
6.5.4 Badezimmer.....	31
6.5.5 Flure	31
6.5.6 Pflege für Menschen mit Demenz	32

6.6	Gesundheitseinrichtungen	32
6.6.1	Allgemeines	32
6.6.2	Bettzimmer und Wöchnerinnenzimmer	32
6.6.3	Personalräume und Dienstzimmer	33
6.6.4	Mehrzweckzimmer, allgemeine Aufenthaltsbereiche und Flure	33
6.6.5	Aufwachräume	33
6.6.6	Besondere Bedeutung von Notfällen	33
6.7	Private Lebensräume	33
6.8	Hotelzimmer	33
7	Objekte für Schichtarbeit (allgemein)	34
7.1	Allgemeines	34
7.2	Verschieben der circadianen Phase	34
7.3	Stabilisieren der circadianen Phase mit Aktivierung in kritischen Situationen	35
8	Prüfverfahren, Einweisung und Wartungsplan	37
Anhang A (informativ) Verzeichnis der Beleuchtungsempfehlungen für biologische		
	Lichtwirkungen	38
A.1	Aufbau der Tabellen	38
A.2	Verzeichnis von Innenraumbereichen, Aufenthaltsbereichen, Bereichen der Sehaufgabe oder Bereichen der Tätigkeit	39
A.3	Beleuchtungsempfehlungen für Innenraumbereiche, Bereiche der Sehaufgaben und Bereiche der Tätigkeiten	41
Literaturhinweise		67

Vorwort

Dieses Dokument (DIN SPEC 67600) wurde vom Arbeitsausschuss NA 058-00-27 AA „Wirkung des Lichts auf den Menschen“ des Normenausschusses Lichttechnik (FNL) im DIN nach dem Fachbericht-Verfahren erarbeitet.

Licht ist entscheidend für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen. Es beeinflusst physiologische und psychologische Zustände wie Stimmungen, Emotionen und auch die Aufmerksamkeit.

Die Bedeutung von Tageslicht oder von geeigneter künstlicher Beleuchtung zur Verbesserung des Wohlbefindens und zur Stabilisierung des circadianen Rhythmus, d. h. der inneren Uhr, ist unumstritten [1][2].

Zur Umsetzung dieser Erkenntnisse in Beleuchtungsanlagen fehlen bis heute solche allgemein anerkannten Planungsempfehlungen, die neben einer guten Beleuchtung für Sehaufgaben auch die nichtvisuellen biologischen Wirkungen von Licht effizient nutzen.

Im modernen Alltag entfernen sich Menschen in zunehmendem Maße vom natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus. Die Helligkeit und Dynamik des Lichts am Tag spielt ebenso wie die Dunkelheit der Nacht für viele Menschen eine immer geringere Rolle in ihrem täglichen Leben.

Die Wirkung des Lichts auf das biologische System hängt in komplexer Form hauptsächlich mit den Parametern Lichtspektrum, Lichtverteilung, Bestrahlungsstärke und deren zeitlichen Abfolgen zusammen.

Mit integrierender Lichtplanung können verschiedene Aspekte für gute Beleuchtung in Bezug auf visuelle und nichtvisuelle Wirkungen sowie Energieeffizienz umgesetzt werden. Biologisch wirksame Beleuchtung und Energieeffizienz stehen dabei nicht im Widerspruch. Für biologisch wirksame künstliche Beleuchtung wird Energie aufgewendet, die je nach Lichtspektrum nur in geringem Maß für den eigentlichen Sehvorgang genutzt wird und auch nicht danach zu bewerten ist.

Biologisch wirksames Licht unterstützt den menschlichen Organismus und wird entsprechend der biologischen Wirkungsfunktion energetisch eigenständig nach DIN V 5031-100 bewertet.

Ziel der Planung und Anwendung biologisch wirksamen Lichts ist im Wesentlichen eine Stabilisierung des circadianen Systems des Menschen mit einem günstigen Einfluss auf Leistungsvermögen und Konzentration in den aktiven Phasen und eine nachhaltige Verbesserung der Regeneration in den Erholungsphasen.

Einleitung

Lange Zeit wurden biologische Wirkungen des Lichts auf den Menschen als ein überwiegend medizinisches Thema gesehen, welches für die Lichttechnik im Allgemeinen und insbesondere für die Lichtanwendung in der Allgemeinbeleuchtung von eher untergeordneter Bedeutung gesehen wurde. Seitens der Lichttechnik wurde zwar eine geeignete messtechnische Beschreibung entwickelt, die Anwendung aber den Spezialisten aus Biologie und Medizin überlassen.

Diese Sichtweise hat sich geändert, seit im Jahre 2001 im menschlichen Auge ein sogenannter dritter Photorezeptor nachgewiesen wurde, welcher für direkte biologische Lichtwirkungen verantwortlich ist. Die übliche Anwendung von künstlichem Licht bzw. Tageslicht ist damit eng mit den biologischen Wirkungen verbunden. Jede Beleuchtung zu jeder Tages- oder Nachtzeit wirkt auf das biologische System des Menschen. Auch die allgegenwärtig eingesetzte Standardbeleuchtung und sogar die Dunkelheit als vermeintlich „lichtlose“ Zeit haben Wirkungen auf die Biologie des Menschen.

Es ist bekannt, dass Licht auch über andere Wirkungswege als das menschliche Auge — so z. B. über Lichtsensoren in der Haut oder über die Haarwurzeln — auf den menschlichen Organismus wirkt. Da die Effizienz dieser anderen Wirkungswege nach heutigem Kenntnisstand gering erscheint, wird in diesem Dokument nicht hierauf eingegangen.

Die Evolution hat in Jahrtausenden zu Anpassungen des Menschen an das natürliche Licht des Himmels und der Sonne geführt. Heute halten sich Menschen besonders in den Industrienationen sowohl am Tag als auch in der Nacht überwiegend in Innenräumen und unter künstlicher Beleuchtung auf.

Während die Beleuchtungsstärken im Freien selbst bei schlechtem Wetter noch einige tausend Lux ausmachen, ist das Niveau der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen mit 500 lx bis höchstens 1 000 lx deutlich geringer als bei natürlichem Tageslicht.

Auch andere Parameter des natürlichen Tageslichts werden in der künstlichen Beleuchtung nicht nachgebildet, z. B. das Lichtspektrum oder zeitliche Variationen.

Es drängt sich die Frage auf, ob dem Menschen durch die andere Beleuchtungscharakteristik der künstlichen Innenraumbeleuchtung nicht wichtige Aspekte seiner natürlichen Umgebung entzogen sind. So ist bekannt, dass zumindest zwei Systeme des Menschen durch die heute übliche Innenraumbeleuchtung nicht in geeigneter Form „versorgt“ werden. Betroffen hiervon sind (1.) die Vitamin-D-Produktion durch Bestrahlung der Haut mit UV-B Strahlung und (2.) das circadiane System des Menschen, welches unsere Tag/Nach-Rhythmik steuert.

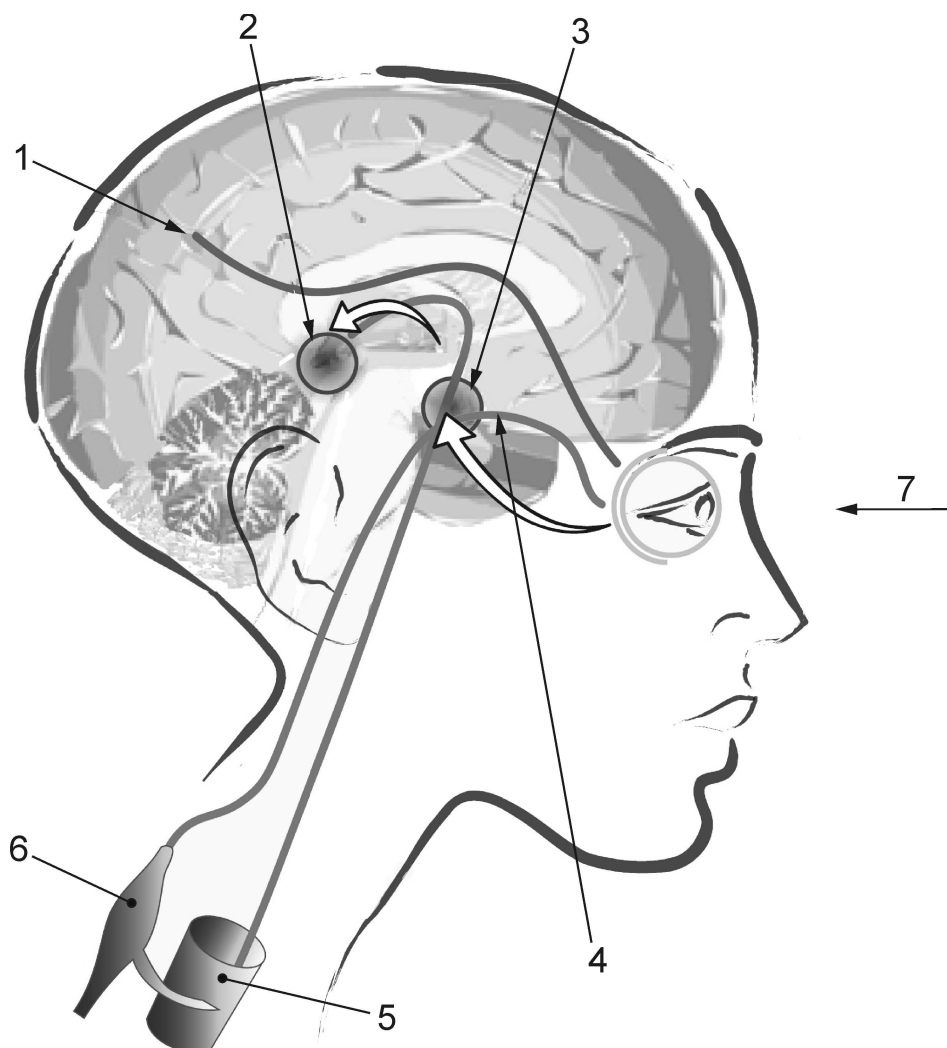
Für beide genannten Systeme bietet der Aufenthalt im Freien die beste Versorgung mit geeignetem Licht (einschl. UV). Nach heutigen Erkenntnissen ist z. B. ein täglicher etwa halbstündiger Aufenthalt im Freien für die Gesundheit zu empfehlen [3].

Durch ausreichend natürliches Tageslicht oder tageslichtähnlichem Licht werden weitere Verbesserung der Lebensqualität, der Kognition und des Wohlbefindens der Menschen erwartet, wie z. B. eine höhere Schlafqualität in der Nacht, verbesserte geistige Leistungsfähigkeit am Tag und eine positivere Stimmungslage.

Gleichwohl einige der genannten Parameter stark mit emotionalen Wirkungen verknüpft sind, werden besonders diese Aspekte von Licht und Farbe hier nicht berücksichtigt.

Diese Planungsempfehlungen — wie auch die Vornorm DIN V 5031-100 — beziehen sich ausschließlich auf nichtvisuelle Wirkungen, die über die Augen vermittelt werden.

Das funktionale biologische System besteht im Wesentlichen aus den lichtempfindlichen melanopsinhalten Ganglienzellen der Retina, dem Retinohypothalamischen Trakt, den Suprachiasmatischen Kernen (nach heutiger Vorstellung „der“ Sitz der zentralen inneren Uhr), der Zirbeldrüse mit seinem Hormon Melatonin sowie den ausführenden Organen und Zellen des Körpers (siehe Bild 1).



Legende

1	Sehzentrum	3	Suprachiasmatischer Nucleus (SCN)	5	Rückenmark	7	Licht
2	Zirbeldrüse	4	Retinohypothalamischer Trakt (RHT)	6	Ganglienzellen in oberen Halswirbeln		

Bild 1 — Visueller Pfad (grün) vom Auge über den Sehnerv zum Sehzentrum im Gehirn und retinohypothalamischer Trakt (Biologischer Pfad, blau) vom Auge über Ganglienzellen im Rückenmark zum Suprachiasmatischen Nucleus (SCN) und weiter zur Zirbeldrüse

ANMERKUNG Ein Teil der Erkenntnisse beruht derzeit noch auf der Analyse von Zusammenhängen mit dem Hormon Melatonin, genauer mit der nächtlichen Suppression des Hormons. So wurden z. B. keine Dosis-Wirkungskurven für die Beziehung zwischen Lichtspektren und Schlafqualität ermittelt. Allerdings gibt es Studien über den Zusammenhang zwischen Lichtspektren und Melatonin und auch solche über den Zusammenhang zwischen Melatonin und Schlafqualität. Insgesamt zeichnet sich in vielen Bereichen ein weitgehend konsistentes Bild vom Funktionieren des Gesamtsystems ab, mit dem Hormon Melatonin als Markersubstanz für die Phase der inneren Uhr als Bindeglied.

Gleichwohl Planungsgrundlagen und Empfehlungen anhand laufender und zukünftiger Forschungsergebnisse zu diesem System immer wieder geprüft werden müssen, ist der Arbeitsausschuss NA 058-00-27 AA des DIN zur Entscheidung gekommen, diese Empfehlungen auf Basis des bestehenden Erkenntnisstandes zu verfassen.

Da künstliche Beleuchtung im Gegensatz zum natürlichen Tageslicht bezüglich seiner Einzeleigenschaften technisch steuerbar und dosierbar ist, besteht die Möglichkeit, zukünftig für einzelne Anwendungsbereiche die künstliche Beleuchtung idealerweise zusammen mit dem Tageslicht zu planen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gibt Planungsempfehlungen für Lebensräume, welche Arbeitsstätten oder Nichtarbeitsstätten sein können. Eingeschlossen sind auch solche Bereiche, in denen sich die Nutzungen überlagern oder mischen können.

Die hier beabsichtigten biologischen Wirkungen beziehen sich auf Tageslicht und auf künstliche Beleuchtung oder eine Mischung von beiden.

ANMERKUNG 1 Optimal und deshalb in der Planung biologischer Lichtwirkungen zu bevorzugen ist die Verwendung von möglichst viel Tageslicht. Da dieses in der Praxis aber nicht immer ausreichend zur Verfügung steht, können künstliche Beleuchtungsanlagen Ersatz oder Teilersatz bieten.

Die in diesem Dokument angegebenen Planungsempfehlungen bilden Ergänzungen zu den visuellen Anforderungen anderer Normen.

ANMERKUNG 2 Die visuellen Planungsanforderungen werden in DIN EN 12464-1 und für Arbeitsstätten in ASR 3.4 festgelegt. Die Anforderungen der ASR 3.4 sind für Arbeitsstätten in Deutschland bindend.

Dieses Dokument gibt allgemeine Empfehlungen für mögliche Umsetzungen und beschreibt auch konkrete Anwendungen.

ANMERKUNG 3 Objekte, z. B. Alten- und Pflegeheime (Seniorenheime), Ausbildungsstätten, Gesundheitseinrichtungen, Büros sowie Leitwarten werden durch Planungsempfehlungen konkretisiert.

Dieses Dokument legt keine Anforderungen hinsichtlich einer beabsichtigten Verschiebung der circadianen Phase mit Licht fest und enthält lediglich allgemeine Planungshinweise für Arbeitsplätze mit Schichtarbeit.

Die Grundlagenforschung zu biologischen Lichtwirkungen bietet bereits heute ein verlässliches Fundament an Wissen. Für deren Umsetzung in die Praxis besteht aber noch erheblicher Erprobungs- und Optimierungsbedarf. Die Beispiele im Dokument geben einen praktischen Anhalt im Hinblick auf erfolgreich getestete Umsetzungen und Erfahrungen aus der bisherigen Erprobung. Die in diesem Dokument aufgeführten Zahlenwerte und Beispiele spiegeln den derzeitigen Stand des Wissens wider, wozu neben der publizierten Literatur auch Interviews mit relevanten Wissenschaftlern (international) geführt wurden.

Hinsichtlich der medizinischen Behandlung mit Licht werden keinerlei Hinweise gegeben, da dies nicht Inhalt von technischen und baulichen Planungen im Sinne dieses Dokuments ist.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 5031-3, DIN 5035-7, DIN V 5031-100, DIN EN 12464-1, DIN EN 12665 und die folgenden Begriffe.

2.1

Nichtarbeitsstätten

alle Bereiche, die nicht durch DIN EN 12464-1 oder ASR 3.4 beschrieben sind

2.2

Lebensräume

Bereiche, bestehend aus Arbeitsstätten und/oder Nichtarbeitsstätten, in denen Menschen regelmäßig längere Zeit verweilen

2.3

Objekte

Gebäude, Innenräume und Flächen analog HOAI [20], die als Lebensräume für Menschen geplant werden

2.4

interdisziplinäre Planung

Leistungsphasen der Objekt- und Fachplanungen innerhalb aller Leistungsbilder und für alle Objekte einschließlich der objektspezifischen Beratungsleistungen und Besonderen Leistungen analog HOAI [20]

Anmerkung 1 zum Begriff: Durch interdisziplinäre Planung entstehen Lösungsansätze, die über die Grenzen eines einzigen Fachgebietes hinausgehen und deren Komplexität über ein fachübergreifendes Sprach- und Wertesystem für den Nutzer und Anwender allgemein verständlich vermittelt werden können.

2.5

Tageslichtähnliches Licht (in Bezug auf biologische Wirkungen)

Künstliche Beleuchtung, die ähnliche biologische Wirkungen wie Tageslicht erzielt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Lichttherapie gegen saisonal abhängige Depressionen (SAD) erzeugt weißes Licht geeigneter künstlicher Lichtquellen ähnlich gute Behandlungserfolge wie das natürliche Tageslicht.

3 Integrierende Planung

Integrierende Planung bezieht die Nutzung und die Wirkungen des Lichtes von Anfang an gesamtheitlich in den Planungsprozess ein und trägt dazu bei, unter anderem auch durch geeignete Nutzung von Tageslicht energieeffiziente Lösungen für biologisch wirksames Licht umzusetzen.

Die Planung der biologisch wirksamen Beleuchtung betrifft auch die bauliche Lage und Nutzungen des Objektes, die wesentlichen Einfluss auf den Tageslichtanteil und damit auch auf die Planung biologisch wirksamer Beleuchtung haben.

Die Planung biologischer Wirkung des Lichts berücksichtigt bevorzugt Räume mit längeren Verweilzeiten und/oder die Nutzung von Lichtquellen, denen Menschen über einen längeren Zeitraum ausgesetzt sind.

Die visuellen Anforderungen für Arbeitsstätten in Innenräumen sind in DIN EN 12464-1 beziehungsweise ASR 3.4 beschrieben.

Auch für eine biologisch wirksame Beleuchtung in Innenräumen gelten zunächst die Anforderungen nach DIN EN 12464-1, ASR 3.4 und der Normenreihe DIN 5035. Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage für effiziente biologisch wirksame Beleuchtung gelten darüber hinaus weitere Bedingungen, die eine weitergehende integrierende Lichtplanung erfordern. Diese ist als Teil einer interdisziplinären Planung von Objekten auszuführen. Grundlage für die Planung biologischer Lichtwirkungen ist dabei ein qualifiziertes Lichtkonzept im Ergebnis der Grundlagenermittlung und als Voraussetzung der Vorplanung.

ANMERKUNG 1 Im Sinne der biologischen Lichtwirkung beginnt integrierende Planung bei der Bedarfsplanung und führt von der Grundlagenermittlung über die Vorplanung und weiter durch alle Leistungsphasen entsprechend HOAI [20]. Die integrierende Planung biologischer Lichtwirkungen ist ein fachgebietsübergreifendes Bindeglied der interdisziplinären Planung.

Da in der Innenraumbelichtung — schon aus ökologischen Gesichtspunkten — die Verhältnisse der natürlichen Beleuchtung nicht nachgebildet werden können, müssen in einer integrierenden Planung die verfügbaren Technologien umfassend einbezogen werden, um zu geeigneten Beleuchtungslösungen zu kommen.

ANMERKUNG 2 So kann das Wissen um biologisch wirksame Spektren bspw. dafür genutzt werden, mit geringem energetischem Aufwand am Tag entsprechende Blauanteile mit der künstlichen Beleuchtung zu generieren und somit aktivierend zu wirken. Am Abend und in der Nacht sollten diese blauen spektralen Anteile wiederum vermieden werden, um eine Störung des individuellen circadianen Rhythmus zu minimieren.

Biologisch wirksame Beleuchtung und Energieeffizienz stehen nicht im Widerspruch. Die für biologisch wirksame künstliche Beleuchtung aufgewendete Energie wird je nach spektraler Verteilung des Lichts nur in geringem Maß für den eigentlichen Sehvorgang genutzt und ist nicht für die Bewertung der Energieeffizienz nach photometrischen (visuellen) Kriterien zu berücksichtigen.

Zur Planung im Sinne dieses Dokuments gehören auch gestalterische Aspekte, die hier nicht beschrieben werden.

4 Zielgrößen

Die biologischen Wirkungen von Licht beziehen sich in diesem Dokument ausschließlich auf die durch Licht zusätzlich zur visuellen Wahrnehmung über das Auge vermittelten Wirkungen nach DIN V 5031-100.

Erwartet wird, dass durch biologisch wirksame Beleuchtungsanlagen folgende positive Wirkungen erzielt werden:

- Stabilisierung des individuellen circadianen Rhythmus;
- Zeitliche Gestaltung des Schlaf-Wach-Zyklus bevorzugt zum Synchronisieren an den 24-stündigen Tag-Nacht-Rhythmus;
- Stärkung der Amplitude der biologischen Uhr;
- Aktivierung und Verbesserung der Konzentration;
- Stabilisierung der Leistungsbereitschaft und Senkung der unmittelbaren Müdigkeit;
- Ermöglichen und Fördern der Regeneration;
- Verbesserung der Stimmungslage (z. B. Vermeiden von Depressionen);
- Stärkung des Immunsystems.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die oben beschriebenen Wirkungen von Licht in hohem Maße zeitabhängig sind. Die gleiche Beleuchtungssituation, eingesetzt zur falschen Zeit, kann negative/entgegengesetzte Auswirkungen hervorrufen.

5 Kriterien für biologisch wirksame Beleuchtung

5.1 Allgemeines

Aus Gründen der Energieeffizienz dürfen biologische Wirkungen nicht nur durch einfache Erhöhung der Beleuchtungsstärken erreicht werden. Die Zielgrößen sind vorrangig mit Hilfe interdisziplinärer Planung mittels gezielten Einsatzes von Spektren, Lichtverteilungen, Lichtrichtungen und zeitlichen Abläufen sinnvoll zu erhöhen oder zu verringern. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick, wie diese Faktoren die biologische Lichtwirkung beeinflussen:

Tabelle 1 — Faktoren, die biologische Lichtwirkungen grundsätzlich erhöhen oder verringern können

—	Höhere biologische Wirkung wird erzeugt durch	Geringere biologische Wirkung wird erzeugt durch	Erläuterungen	Verweise
a)	höhere Bestrahlungsstärke	geringere Bestrahlungsstärke	Höhe der biologisch bewerteten Strahlung (vgl. DIN V 5031-100).	5.3
b)	längere Dauer der Exposition	kürzere Dauer der Exposition		5.5.4
c)	höhere Blauanteile	geringere Blauanteile	Die kurzwelligen Spektralanteile des Lichts haben eine größere biologische Wirkung. Für weißes Licht ist die biologische Wirksamkeit mit der Farbtemperatur positiv korreliert. ANMERKUNG Dies kann für Melatoninunterdrückung und das Verschieben der circadianen Phase als nachgewiesen angesehen werden. Möglicherweise stimmt dies für andere biologische Wirkungen nicht immer, da der zusätzliche Einfluss der Zapfen und Stäbchen noch nicht vollständig bekannt ist.	5.2
d)	flächiges Licht	punktförmiges Licht	Großflächiges Licht wird oft durch indirekte Beleuchtung erzeugt. Licht das von oberhalb der Blickrichtung ins Auge gelangt, ist wirksamer als Licht von unterhalb [2][4].	4.4
e)	dynamische Lichtänderungen	konstantes Licht	Zeitliche Änderungen der Beleuchtungsstärke [5], der Spektren, der Lichtverteilung und der Lichtrichtung.	5.5
f)	geringe Bestrahlungsstärke vor der betrachteten Lichtexposition		Längere Zeit dunkel adaptierte Personen sind lichtempfindlicher und reagieren auf die Lichtexposition stärker. Daher sind auch Dunkelphasen bedeutsam für die biologische Wirkung des Lichts (Lichthistorie).	
g)	Licht am Morgen ist am wirksamsten zur Synchronisierung der inneren Uhr.	Licht am Nachmittag hat eine eher geringe Wirkung auf die innere Uhr.	Phasenverschiebungen mittels Licht sind um den Zeitpunkt des Minimums der Körperkerntemperatur am wirksamsten – gegen Ende der Schlafphase.	5.5

5.2 Spektrale Zusammensetzung des Lichts

5.2.1 Allgemeines

Die biologische Wirkung des natürlichen Tageslichts zu einem bestimmten Zeitpunkt ergibt sich im Wesentlichen aus einer Kombination der Faktoren Beleuchtungsstärke und spektrale Zusammensetzung des Lichts. Der Himmel weist am Tag eine hohe ähnlichste Farbtemperatur bei gleichzeitig hoher Beleuchtungsstärke auf, die für die biologische Aktivierung maßgeblich sind. Bei der vergleichsweise geringeren Beleuchtungsstärke im Innenraum kann gegenüber dem Tageslicht im Außenraum eine ähnliche biologische Wirkung nur mit Lichtquellen erzielt werden, die einen vergleichbar hohen blauen Spektralanteil enthalten.

In der Natur tritt am Morgen und am Abend zeitweise eine systematische Verschiebung des Spektrums zu einem erhöhten Rotanteil in den Zeiten des tatsächlichen Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergangs auf. In den Zeiten vor dem Sonnenaufgang und nach dem Sonnenuntergang enthält das Spektrum des Himmels einen erhöhten relativen Anteil an blauen Spektralanteilen.

Für die geringere biologische Wirkung in den frühen Morgen- und späten Abendstunden sowie in der Nacht ist jedoch die geringe Beleuchtungsstärke maßgeblich.

Eine geringere biologische Wirkung und somit eine geringe Melatonininsuppression in der Nacht kann im Innenraum — bei gleichzeitigen Erhalt guter Sehfähigkeit — nur mit einer Reduktion der blauen Spektralanteile im Spektrum der Lichtquellen erreicht werden.

Für Menschen mit einem am natürlichen Tag orientierten Rhythmus (keine Schichtarbeit) sollten die Beleuchtungsstärken besonders in den späten Abend- und in den Nachtstunden rein an der visuell gerade noch benötigten Lichtmenge orientiert sein, um den circadianen Rhythmus der Person weitestgehend zu erhalten. Hierbei sind Lichtquellen mit geringer biologischer Wirkung zu bevorzugen.

Zusätzlich zu dem Bestreben einen möglichst hohen Systemwirkungsgrad bezüglich der visuellen Wahrnehmung zu erreichen, kommt bei der Berücksichtigung der biologischen Wirkung die Notwendigkeit hinzu, Verluste im blauen Spektralbereich zu minimieren. Verwendete Materialien sind deshalb bezüglich ihrer spektralen Eigenschaften hinsichtlich Reflexion und Transmission zu bewerten. Mehrfachreflexionen in Leuchten können eigentlich relativ geringe Farbverschiebungen signifikant verstärken.

In der Planung sind Reflexions- und Transmissionseigenschaften von Materialien wie z. B. Raumelemente, Wandfarben und Glas zu berücksichtigen. Holzelemente, Erdfarben und opale Elemente können dabei die biologische Wirkung einer Lichtquelle mit erhöhtem Blauanteil deutlich reduzieren.

BEISPIEL Durch Verwendung „filternder“ Leuchtenabdeckungen kann es vorkommen, dass nur noch Licht von 6 500 K ähnlichster Farbtemperatur ins Auge gelangt, obwohl von der Lichtquelle 8 000 K erzeugt werden.

Tabelle 2 und Bild 3 liefern Beispiele für Faktoren bezüglich Transmission, Tabelle 3 und Bild 4 bezüglich Reflexion.

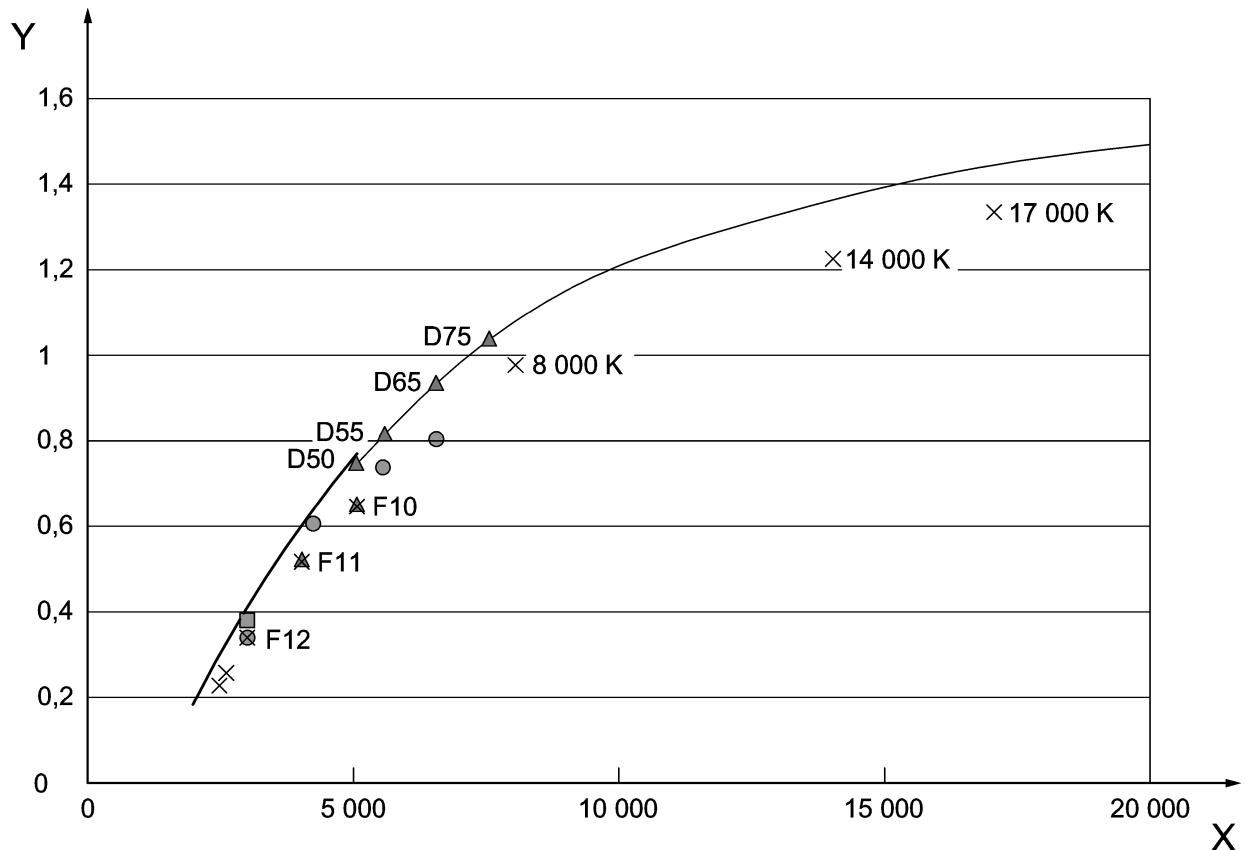
ANMERKUNG 1 Die biologisch wirksame Bestrahlungsstärke auf einer betrachteten Fläche kann entweder durch eine Messung der spektralen Bestrahlungsstärke mit anschließender Wichtung mit der biologischen Wirkungsfunktion $s_{\text{biol}}(\lambda)$ bestimmt werden, oder sie kann mit einem integral messenden Radiometer (siehe DIN 5031-11), ausgerüstet mit einem Empfänger, dessen spektrale Empfindlichkeit der biologischen Wirkungsfunktion angepasst ist (siehe DIN V 5031-100), gemessen werden. Bei gleichzeitiger Verwendung eines Beleuchtungsstärkemessgerätes am gleichen Ort kann aus beiden Messwerten auch der biologische Wirkungsfaktor a_{biol} nach DIN V 5031-100 bestimmt werden (siehe Anmerkung 2).

ANMERKUNG 2 In DIN V 5031-100:2009-06 wurde der Begriff „biologische“ Lichtwirkung verwendet. Diese Vornorm befindet sich zurzeit in Überarbeitung. Im Rahmen dieser Überarbeitung soll der Begriff „biologisch“ durch „melanopisch“ ersetzt werden, da der Begriff „biologisch“ für alle Wirkungen auf den Menschen, selbst für den Sehvorgang, zutreffend wäre und daher als zu unspezifisch angesehen wird.

Da die Wirkung auf dem Farbstoff Melanopsin beruht, wird die Bewertung, welche auf Basis dieses Wirkungsspektrums erfolgt als „melanopisch“ bezeichnet. Dieses Kunstwort wurde gewählt, um sprachlich an die gängigen Begriffe „photopisch“, „skotopisch“ oder „mesopisch“ anzuschließen und eine einfache Übersetzung ins Englische zu ermöglichen. Der Begriff „melanopic“ wird in englischsprachiger Fachliteratur für eine Bewertung der von retinalen Ganglienzellen vermittelten melanopischen Wirkung gebraucht. Da der Veröffentlichungszeitpunkt für die überarbeitete DIN V 5031-100 noch nicht absehbar ist, wird in diesem Dokument weiterhin der eingeführte Begriff „biologisch“ verwendet und zu einem späteren Zeitpunkt ausgetauscht. Die in 5.2.3 und 5.2.4 aufgeführten Materialien stellen lediglich Beispiele für Transmissions- und Reflexionseigenschaften bezüglich der biologischen Wirkung dar. In der Planung sind auch andere Materialien möglich und müssen dazu analog bewertet werden.

5.2.2 Spektrale Bewertung von Lichtquellen

Ist die Beleuchtungsstärke vorgegeben, erhöht sich die biologische Wirksamkeit mit zunehmendem Blauanteil im Lichtspektrum. Dieser wird mit dem biologischen Wirkungsfaktor $a_{\text{biol } v}$ nach DIN V 5031-100 beschrieben. DIN V 5031-100:2009-06, Tabelle 4, liefert Beispiele für diese biologischen Wirkungsfaktoren. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen ähnlichster Farbtemperatur und dem Wirkungsfaktor $a_{\text{biol } v}$ (siehe Bild 2).



Legende

X	ähnlichste Farbtemperatur in K	▲	Normlichtarten
Y	biologischer Wirkungsfaktor $a_{\text{biol } v}$	×	Leuchtstofflampen
—	Planckscher Strahler	■	Halogenlampen
- - -	Tageslichtspektren	●	LED

Bild 2 — Relative biologische Wirksamkeit $a_{\text{biol } v} = E_{\text{biol}}/E_v$ als Funktion der ähnlichsten Farbtemperatur — Berechnungen für Plancksche Strahler und Messungen von Lampen verschiedener Technologie und Lichtfarbe

BEISPIEL Mit dem zu planenden biologischen Wirkungsfaktor ist eine erste Bestimmung des Lampentyps an Hand der ähnlichsten Farbtemperatur möglich. So hat eine Halogenlampe (etwa 3 000 K) einen Wirkungsfaktor von etwa 0,35. Dieser beträgt nur etwa 1/3 einer Leuchtstofflampe mit 8 000 K, deren Wirkungsfaktor etwa 1 ist.

5.2.3 Veränderungen des Spektrums bei Transmission

Ein Faktor $k_{\text{biol trans}}$ der Veränderung für die biologisch wirksame Strahlungsgröße X_{biol} nach DIN V 5031-100 infolge von Transmission durch Materialien mit dem spektralen Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ errechnet sich nach Gleichung (1).

$$k_{\text{biol trans}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{\lambda}(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot s_{\text{biol}}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{biol}}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (1)$$

Dabei ist

$X_{\lambda}(\lambda)$ spektrale strahlungsphysikalische Größe;

$s_{\text{biol}}(\lambda)$ relative spektrale Empfindlichkeit des betrachteten biologischen Vorganges nach DIN V 5031-100;

λ_1, λ_2 Grenzwellenlängen für den Empfindlichkeitsbereich nach DIN V 5031-100:2009-06, Tabelle 1.

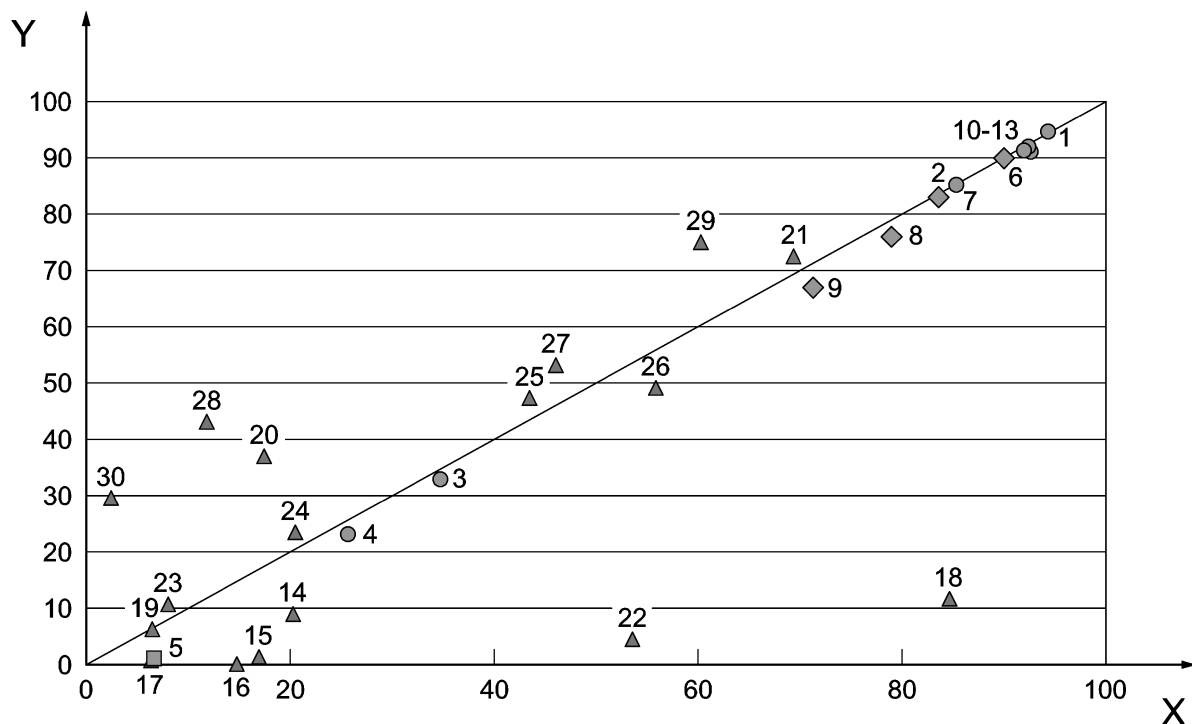
Beispielhafte Werte können Tabelle 2 und Bild 3 entnommen werden.

Tabelle 2 — Faktoren der Veränderung des Wirkungsfaktors durch Transmission verschiedener Materialien (Beispiele)

Nr.	Material (Beispiele)	Normlichtart A nach CIE (Glühlampe) $T_f = 2\,856\text{ K}$	Lichtart F11 nach CIE (Leuchtstofflampe) $T_f = 4\,000\text{ K}$	Normlichtart D65 nach CIE (Tageslicht) $T_f = 6\,504\text{ K}$	Leuchtstoff- lampe weiß $T_f = 8\,000\text{ K}$
1	Kunststoff leicht streuend	1,005	1,006	1,005	1,006
2	Kunststoff streuend	1,003	1,002	1,001	1,003
3	Kunststoff opaque leicht streuend	0,915	0,904	0,910	0,913
4	Kunststoff opaque streuend	0,968	0,967	0,968	0,971
5	Sonnenschutzglas RT95 (Schutzbrillen bei altersbedingter Makuladegeneration)	0,161	0,169	0,186	0,194
6	Grün Glas einfach	1,002	0,998	0,998	0,997
7	Grün Glas Doppelverglasung	1,001	0,998	0,998	0,998
8	Grün Glas doppelt Low-E (niedrige Emissivität)	0,980	0,965	0,969	0,963
9	Grün Glas doppelt Low-E mit Reflektions- beschichtung	0,971	0,940	0,944	0,935
10	PMMA GS farblos	0,998	0,998	0,998	0,998
11	PMMA GS nach Xenotest 10000 h	0,991	0,989	0,990	0,989
12	PMMA XT farblos	0,998	0,997	0,998	0,997

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Nr.	Material (Beispiele)	Normlichtart A nach CIE (Glühlampe) $T_f = 2\,856\text{ K}$	Lichtart F11 nach CIE (Leuchtstofflampe) $T_f = 4\,000\text{ K}$	Normlichtart D65 nach CIE (Tageslicht) $T_f = 6\,504\text{ K}$	Leuchtstoff- lampe weiß $T_f = 8\,000\text{ K}$
13	PMMA XT nach Xenotest 10 000 h	0,998	0,997	0,997	0,998
14	PMMA braun	0,485	0,444	0,460	0,434
15	PMMA rot 1	0,001	0,001	0,001	0,001
16	PMMA rot 2	0,060	0,073	0,094	0,101
17	PMMA rot 3	0,054	0,080	0,091	0,113
18	PMMA gelb	0,194	0,137	0,123	0,100
19	PMMA grün 1	1,589	0,975	0,879	0,743
20	PMMA grün 2	2,785	2,123	1,846	1,749
21	PMMA grün 3	1,074	1,052	1,042	1,037
22	PMMA orange	0,060	0,082	0,043	0,058
23	PMMA grau 1	1,430	1,324	1,305	1,305
24	PMMA grau 2	1,126	1,152	1,114	1,135
25	PMMA grau 3	1,136	1,095	1,097	1,101
26	PMMA umbra 1	0,872	0,877	0,887	0,889
27	PMMA umbra 2	1,139	1,152	1,130	1,147
28	PMMA blau 1	4,052	3,692	2,880	3,017
29	PMMA blau 2	1,290	1,248	1,226	1,218
30	PMMA blau 3	9,613	12,535	7,232	8,994



Legende

X	optische Transmission in %	●	ungefärbte Kunststoffe	▲	gefärbte Kunststoffe
Y	biologische Transmission in %	◆	Gläser	■	Spezialgläser

Bild 3 — Veränderung der Strahlungsleistung bezogen auf Lichtart F11 durch Transmission verschiedener Materialien nach Tabelle 2

ANMERKUNG Durch Verwendung von klaren, ungefärbten Kunststoffabdeckungen kann die biologische Wirkung von Lichtquellen weitgehend erhalten werden. Durch ungefärbte opale bzw. streuende Kunststoffe wird die biologische Wirkung der Beleuchtung für den Menschen hingegen vermindert, in etwa dem gleichen Ausmaß wie die Reduktion der optischen Transmission. Bei gefärbten Gläsern und Kunststoffen wird die biologische Wirkung ebenfalls absolut verringert, allerdings weicht das Ausmaß der Reduktion üblicherweise von der Reduktion in der optischen Transmission ab und ist auch deutlich vom Spektrum der Lichtquelle abhängig. Rote, gelbe und orangene Gläser filtern kurze Wellenlängen sehr effektiv. Dagegen lassen bläuliche Gläser kurze Wellenlängen weitgehend passieren, filtern dagegen längere Wellenlängen was zu einer Blauverschiebung im Licht führt und somit zu einem relativ höheren Blauanteil im Licht. Es bleibt zu beachten, dass auch bei blauen Gläsern eine absolute Reduktion der für das biologische System verfügbaren Strahlung resultiert.

5.2.4 Veränderungen des Spektrums bei Reflexion

Ein Faktor $k_{\text{biol refl}}$ der Veränderung für die biologisch wirksame Strahlungsgröße X_{biol} nach DIN V 5031-100 infolge von Reflexion an Materialien mit dem spektralen Reflexionsgrad $\rho(\lambda)$ errechnet sich nach Gleichung (2)

$$k_{\text{biol refl}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{\lambda}(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot s_{\text{biol}}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{biol}}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (2)$$

Dabei ist

$X_{\lambda}(\lambda)$ spektrale strahlungsphysikalische Größe;

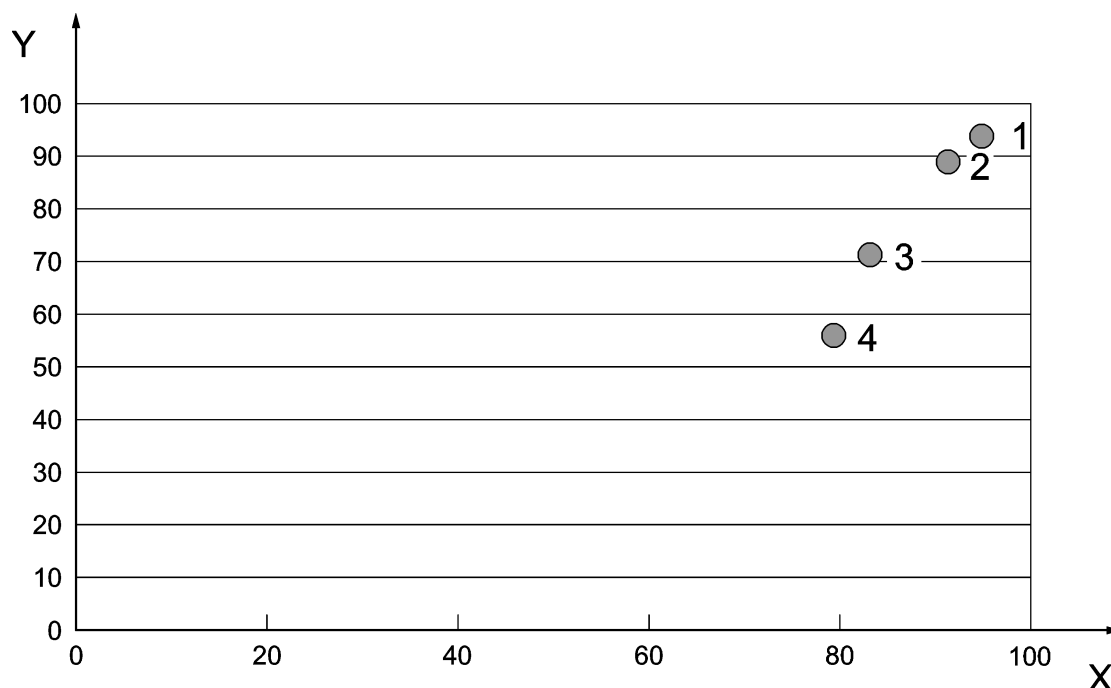
$s_{\text{biol}}(\lambda)$ relative spektrale Empfindlichkeit des betrachteten biologischen Vorganges nach DIN V 5031-100;

λ_1, λ_2 Grenzwellenlängen für den Empfindlichkeitsbereich nach DIN V 5031-100:2009-06, Tabelle 1.

Entsprechende Werte sind in Tabelle 3 und in Bild 4 aufgeführt.

Tabelle 3 — Faktoren der Veränderung des Wirkungsfaktors durch Reflexion an verschiedenen Materialien (Beispiele)

Material (Beispiele)	Normlichtart A nach CIE (Glühlampe) $T_f = 2\,856\text{ K}$	Lichtart F11 nach CIE (Leuchtstofflampe) $T_f = 4\,000\text{ K}$	Normlichtart D65 nach CIE (Tageslicht) $T_f = 6\,504\text{ K}$	Leuchtstofflampe weiß $T_f = 8\,000\text{ K}$
Vergütetes Aluminium	1,004	0,999	0,999	0,998
Wandfarbe weiß (Dispersionsfarbe)	0,987	0,982	0,981	0,984
Wandfarbe grau (Dispersionsfarbe)	0,888	0,863	0,874	0,863
Wandfarbe gelblich (Dispersionsfarbe)	0,756	0,713	0,733	0,711



Legende

X	optische Reflexion in %	1	Aluminium vergütet	3	Wandfarbe grau
Y	biologische Reflexion in %	2	Wandfarbe weiß	4	Wandfarbe gelb

Bild 4 — Veränderung der Strahlungsleistung bezogen auf Lichtart F11 durch Reflexion an verschiedenen Materialien entsprechend Tabelle 3

BEISPIEL Durch gelbe oder noch dunkelfarbigere Anstriche oder Oberflächen (Holz) wird die biologische Wirkung der Beleuchtung für den Menschen signifikant vermindert.

5.3 Beleuchtungsstärke (Bestrahlungsstärke)

Für eine biologische Wirkung der Beleuchtung müssen sowohl die Beleuchtungsstärke als auch die Farbtemperatur gemeinsam berücksichtigt werden. Dabei entscheiden insbesondere die blauen Spektralanteile über die biologische Wirkung des Lichtes.

Es ist erforderlich, dass die vertikalen Beleuchtungsstärken am Auge des Betrachters in jede Richtung einen Betrag äquivalent 250 lx bei 8 000 K ähnlichster Farbtemperatur erreichen, da unterhalb dieses Wertes keine merkbare biologische Wirkung zu erreichen ist. Bei anderen ähnlichsten Farbtemperaturen entsprechend DIN V 5031-100 sind die Beleuchtungsstärkewerte anzupassen. Die Anhaltswerte gehen von einer mehrstündigen Exposition bevorzugt am Vormittag aus [4].

Ändert sich die Blickrichtung während des Nutzungszeitraumes, so ist der Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken über die verschiedenen Blickrichtungen maßgeblich.

Hohe vertikale Beleuchtungsstärken werden hauptsächlich durch die wahrgenommenen Leuchtdichten der betrachteten Oberflächen generiert. Bei beleuchteten Flächen sind die Reflexionsgrade der Oberflächen maßgeblich. Die oberen Grenzen der in DIN EN 12464-1 angegebenen Reflexionsgrade sollten angestrebt werden.

5.4 Geometrische Anordnung des Lichts

5.4.1 Allgemeines

Auch bei einer biologisch wirksamen Beleuchtung gelten in Innenräumen zunächst die geometrischen Anordnungen nach DIN EN 12464-1 und der Normenreihe DIN 5035 analog.

Bei der Planung einer effizienten Beleuchtungsanlage für biologisch wirksame Beleuchtung gelten darüber hinaus besondere Anforderungen.

ANMERKUNG Während die für das Sehen verantwortlichen Zapfen im Zentrum der Netzhautgrube (Fovea) konzentriert sind, sind die melanopsinhaltigen Ganglienzellen, welche die biologische Wirkung vermitteln, über die gesamte Retina verteilt [6]. Dabei ist deren Empfindlichkeit im unteren und nasalen Bereich der Retina höher als im oberen Bereich [7][8].

5.4.2 Fläche und Raumwinkel

Die biologische Wirkung steigt bei gegebener Bestrahlungsstärke mit der Größe des Raumwinkels aller hellen Bereiche im Gesichtsfeld. Der Raumwinkel ist proportional zur geometrischen Fläche der Bereiche und umgekehrt proportional zum Quadrat ihres Ab-standes. Bisherige Untersuchungen am Abend zeigen, dass kleine Lichtquellen (Raumwinkel $< 0,1$ sr) nicht zu einer biologischen Wirkung, gemessen an der Melatonininsuppression, führen. Zwischen $0,1$ sr und $0,5$ sr ändert sich die Wirkung mit zunehmendem Raumwinkel. Soll eine gute biologische Wirkung erreicht werden, so sind helle Flächen anzustreben, die für den Betrachter einen Raumwinkel $> 0,5$ sr einnehmen [5].

Helle Bereiche entstehen beispielsweise durch:

- großflächig leuchtende Flächen (z. B. Tageslichtöffnungen wie Fenster, Leuchten mit lichtlenkenden Abdeckungen);
- selbstleuchtende Materialien (z. B. OLED);
- Beleuchtung mit großflächigem Indirektanteil;
- großflächig reflektierende Elemente (z. B. Segel, „shelf“);
- hinterleuchtete transparente Materialien (z. B. Lichtdecken, Oberlichter mit Kunstlicht, Lichtkästen oder Gardinen);
- Beleuchtung mit indirekten Lichtanteilen an Raumelementen und Einrichtungsgegenständen.

Zur Vermeidung von Blendung müssen die Anforderungen der DIN EN 12464-1 bezüglich der Leuchtdichten von Flächen im Gesichtsfeld und deren Grenzwerte eingehalten werden.

Tageslichtöffnungen sind nach DIN 5034-1 zu bewerten.

5.4.3 Lichtrichtung

In der Planung für biologische Wirkungen ist in besonderem Maße eine flächige Beleuchtung heller Bereiche im oberen Teil des Gesichtsfeldes (oberer Teil der Wände und Decken) anzustreben.

Dies kann z. B. durch Folgendes erreicht werden:

- Beleuchtung mit indirekten Lichtanteilen an Decken und Wänden;
- Tageslichtöffnungen im oberen Teil des Raumes oder lichtlenkende Systeme für Deckenaufhellung (z. B. Oberlichter, Fassaden, Tageslichtsysteme).

5.5 Dynamik des Lichtes

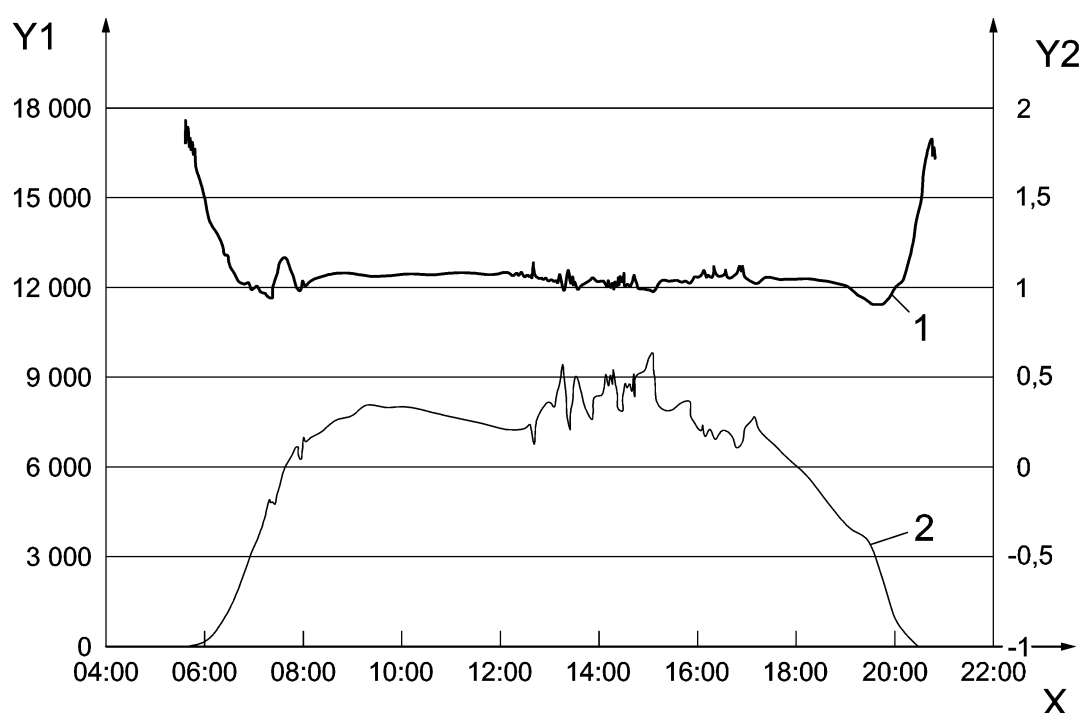
5.5.1 Allgemeines

Die Dynamik des Lichts umfasst Änderungen der Bestrahlungsstärke, der Spektren, der Lichtverteilung und der Lichtrichtung. Die zeitliche Gestaltung dieser Parameter in Bezug auf Dauer, Zeitpunkt, Änderungsgeschwindigkeit und Änderungsrichtung beeinflusst deren biologische Wirksamkeit.

In der Planung ist die biologische Wirkung der Dynamik des Lichts stets im besonderen Zusammenhang mit der jeweiligen Nutzung zu berücksichtigen. Andere Dynamiken als die des natürlichen Tageslichts sind in speziellen Fällen möglich. Voraussetzung dafür sind besondere interdisziplinäre Planungsqualitäten.

5.5.2 Der Tageszeit angepasstes Licht

Das natürliche Licht ändert sich über den Tag (siehe Bild 5). Dieser Vorgabe kann planerisch formal gefolgt werden. Andere Dynamiken bedürfen — je nach Anwendung — einer weitergehenden Planung.



ANMERKUNG 1. Mai 2009, München, Messung vertikal, 180°, Richtung Norden

Legende

- X Tageszeit
- Y1 vertikale Beleuchtungsstärke in lx
- Y2 biologischer Wirkungsfaktor $a_{\text{biol } v}$
- 1 Verlauf des biologischen Wirkungsfaktors $a_{\text{biol } v}$
- 2 Verlauf der vertikalen Beleuchtungsstärke in lx

Bild 5 — Beispiel der vertikalen Beleuchtungsstärke und des biologischen Wirkungsfaktors im Tagesverlauf, gemessen in nördlicher Himmelsrichtung, ohne direkte Sonnenstrahlung (MESZ am 1.5.2009, 48° 8' 14" nördliche Breite, 11° 34' 32" östliche Länge)

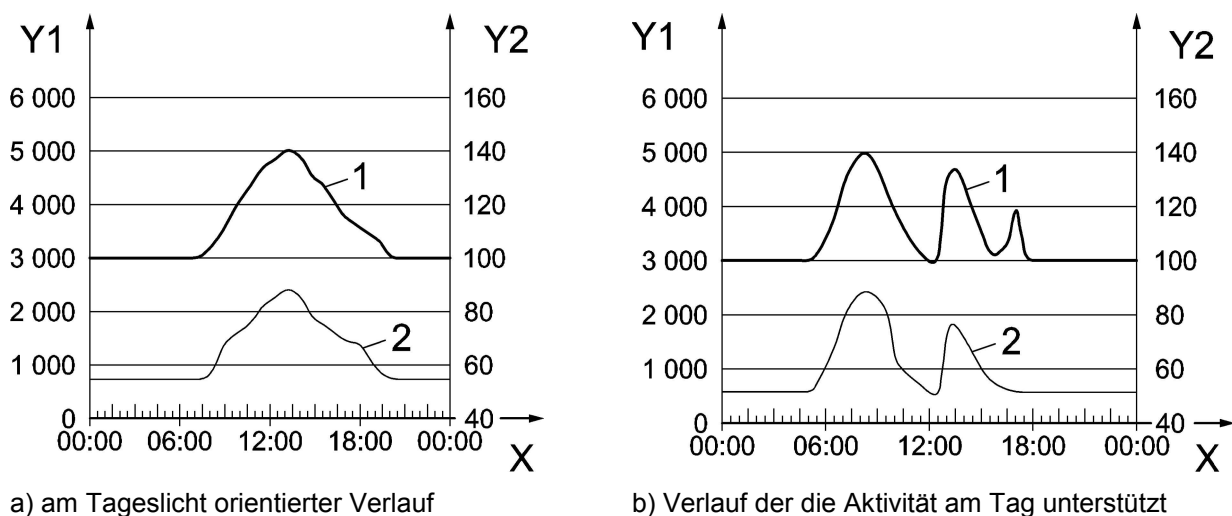
Aufgrund der Beeinflussung der inneren Uhr durch biologisch wirksames Licht sollte die zeitliche Gestaltung dem circadianen Rhythmus der betroffenen Menschen entsprechen. Jeder Mensch hat einen eigenen,

unabhängigen circadianen Rhythmus, dessen Zyklus von der natürlichen Tageslänge abweicht, der aber durch das Tageslicht regelmäßig auf den 24-stündigen Tag-Nacht-Rhythmus synchronisiert wird. Die so synchronisierte innere Uhr gibt den Schlaf-Wach-Rhythmus vor. Daher darf die biologische Wirkung nicht pauschal über den ganzen Tag maximiert werden, auch wenn es die technischen Möglichkeiten erlauben.

Am Morgen ist für die meisten Menschen Licht mit höherer biologischer Wirkung (stimulierend) sinnvoll. Am Abend ist Licht mit aktivierender Wirkung ab etwa 2 h vor dem Schlafengehen zu vermeiden. Beides hilft, den individuellen circadianen Rhythmus zu stabilisieren.

Biologisch wirksames Licht am Tag fördert einen besseren Schlaf in der Nacht. Biologisch wirksames Licht am späten Abend kann die Melatoninproduktion senken und damit die Einschlafphase verlängern [9].

Bei der Planung kann das der Tageszeit angepasste Licht durch zeitliche Variation der Beleuchtungsstärke und der Lichtfarbe realisiert werden (siehe Beispiel Bild 6).



Legende

- X Tageszeit
- Y1 ähnlichste Farbtemperatur in K
- Y2 relative Beleuchtungsstärke in %
- 1 Verlauf der ähnlichsten Farbtemperatur in K
- 2 Verlauf der relativen Beleuchtungsstärke in %

Bild 6 — Beispiel zweier tageszeitabhängiger Lichtdynamiken für eine Lichtplanung

5.5.3 Der Jahreszeit angepasstes Licht

Die Befindlichkeit des Menschen steht auch im Zusammenhang mit natürlichen saisonalen Lichtänderungen.

Eine Beleuchtungsanlage ist so auszulegen, dass auch im Winter und zu den Zeiten, wenn nicht ausreichend Tageslicht zur Verfügung steht, mit Licht eine biologische Wirkung wie z. B. die Synchronisation der inneren Uhr erzielt wird. Dabei ist der Zeitpunkt der Lichtexposition zu beachten (siehe 5.5.2). Im Sommer ist die durch das Tageslicht generierte Lichtexposition dafür oft ausreichend.

ANMERKUNG Sogenannte saisonal abhängige Depressionen (SAD) können mit Lichttherapie behandelt werden, welche im Allgemeinen zu einer Verbesserung der Befindlichkeit führt. Generell verbessern bereits täglich 30 min Belichtung — mit 800 lx vertikaler Beleuchtungsstärke am Auge — SAD und „Winterdepressionen“. Lichttherapie gegen SAD wird normalerweise mit 10 000 lx in einer Zeit von 0,5 h, aber auch bei 2 500 lx während mehr als 2 h durchgeführt. Üblicherweise werden dabei Neutral- oder Tageslichtweiße Lichtfarben verwendet. Die Lichttherapie ist allerdings eine medizinische Anwendung und wird daher in dieser Planungsempfehlung nicht genauer beschrieben.