

Warum wir ein neues Bewertungssystem für die Strahlung und das Licht benötigen

Einleitung

Wer bestimmt, was „Licht“ ist? Eine sich seltsam anmutende Frage, da wir alle wissen, was Licht ist. Oder? In Wirklichkeit wissen wir zwar sehr viel über Licht, jedoch auch nicht näherungsweise auf welchem Wege Licht gemessen und bewertet wird und warum. Solches Wissen ist nur den „Fachleuten“ zugänglich, die sich als verschworene Gemeinschaft präsentieren und verhalten, damit die „Laien“ nichts darüber erfahren. Die Laien sind wir, die Konsumenten von Licht, die Licht zwar benutzen sollen, aber nicht allzu viel verstehen. Wohl deswegen konnte es einer recht kleinen Gruppe von Fachleuten weltweit gelingen, ihr Produkt, das künstliche Licht, zum alleinigen Maßstab für Beleuchtung zu erheben, während das Licht, unter dem sich die Menschheit entwickelt hat, eine Außenseiterrolle zu spielen hat.

Für den Laien wäre es wahrscheinlich nicht der Rede Wert, über Mess- und Bewertungsmethoden von Licht Bescheid zu wissen, solange er beim Suchen nach Licht für das Wohnzimmer, nach Lampen für das Blumenfenster oder das Aquarium aus einer Fülle von Produkten das Geeignete aussuchen kann. Und was ist mit Fachleuten? Sie scheinen sich auch keine tief schürfenden Gedanken darüber zu machen, was Licht ist. Man lernt es bereits in der Schule, lässt sich an der Hochschule noch etwas präziser informieren, und später dabei bewenden: Licht ist elektromagnetische Strahlung in einem bestimmten Wellenlängenbereich, für die das menschliche Auge empfindlich ist. Die Empfindlichkeitskurve sieht wie eine Glocke aus und hat ihr Maximum da, wo die meisten Pflanzenblätter ihre Farbe haben, etwa bei Grün. Das imposante Gebäude namens Lichttechnik beruht auf dieser Kurve.

In den letzten Jahren hat die Wissenschaft aufregend neue Erkenntnisse ans Tageslicht gebracht, die dem Gebäude kräftige Erschütterungen bis in seine Fundamente beschert haben. Sie zwingen sowohl den lichttechnischen „Laien“ als auch die Fachwelt zu einer völlig neuen Betrachtungsweise, deren Bedeutung man nach den Worten von Mark S. Rea, dem Herausgeber der einflussreichsten lichttechnischen Publikation, des Handbuchs der nordamerikanischen Gesellschaft für Lichttechnik, IESNA, so einzuschätzen ist: *Ohne die Entwicklung eines neuen Mess- und Bewertungssystems für Licht und Strahlung, die auf der Basis der Empfindlichkeitsfunktion der Empfänger beruht, die die circadiane Rhythmik des menschlichen Körpers, d.h. den tageszeitlichen Verlauf von Körperfunktionen, steuern, können wir keine Aussagen über „gutes Licht“ treffen, wenn es um die menschliche Gesundheit geht!*

In der Lichttechnik sind wirklich aufregende Zeiten angebrochen.

Wie bewertet man Licht heute?

Strahlung wird in jedem Fachgebiet den Interessen des betreffenden Bereichs entsprechend bewertet. So wird z.B. Strahlung, die Krebs erzeugen kann, an der Wärmeentstehung im Gewebe beurteilt. Den Nachrichtentechniker interessieren diejenigen Eigenschaften, die für die Signalübertragung interessant sind, während sich der Botaniker für solche interessiert, die das Pflanzenwachstum beeinflussen. Den Mediziner interessieren viele Aspekte, von der tödlichen Wirkung von Gammastrahlen bis hin zur Heilwirkung bestimmter Wellenlängen. Was interessiert den Lichttechniker?

(Für mehr Information zu Messen und Bewerten bitte hier [klicken](#))

Das Tagessehen als Maßstab

Das Hauptinteresse des Lichttechnikers gilt der Wirkung der Strahlung auf Sehvorgänge, wofür man etwa seit der Steinzeit technische Mittel vielfältigster Art, vom Kienspan bis zum LED, erfunden hat, die fast alle irgendwo auf der Welt noch in Gebrauch sind. Für das Sehen ist der Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm bedeutsam. Licht wird nur in diesem Bereich gemessen, und zwar nach der sog. $V(\lambda)$ -Kurve (Bild 1). Praktisch alle Messgeräte für lichttechnische Größen sind dieser Kurve angepasst. Nur halten sich die Lichtquellen nicht an die sorgsam festgelegten Grenzen, sie strahlen über einen viel größeren Bereich. Der zusätzliche Aktionsbereich der Lichtquellen ist für den Menschen nicht etwa unbedeutsam. Er ist eher (über)lebenswichtig, denkt man etwa daran, dass der Mensch ohne die UV-Strahlung nicht existieren kann. Diese ist für die Beleuchtungstechnik aber unbedeutsam und findet auch keinen Zugang in unsere umbaute Umwelt, weil das Fensterglas sie zum größten Teil absorbiert. Für viele Leute gilt es als ausgemacht, dass man in Arbeitsräumen künstlich UV erzeugen muss, soll der Mensch gesund bleiben, wenn er sich längere Zeit in diesen Räumen aufhält. Andere lehnen dies aber strikt ab, weil die UV-Strahlung auch schädlich sein kann. Lebenswichtig und schädlich zugleich? Eine Frage der Dosis, wie man nicht erst seit Paracelcus weiß – man kann mit Giften heilen und mit Heilmitteln vergiften.

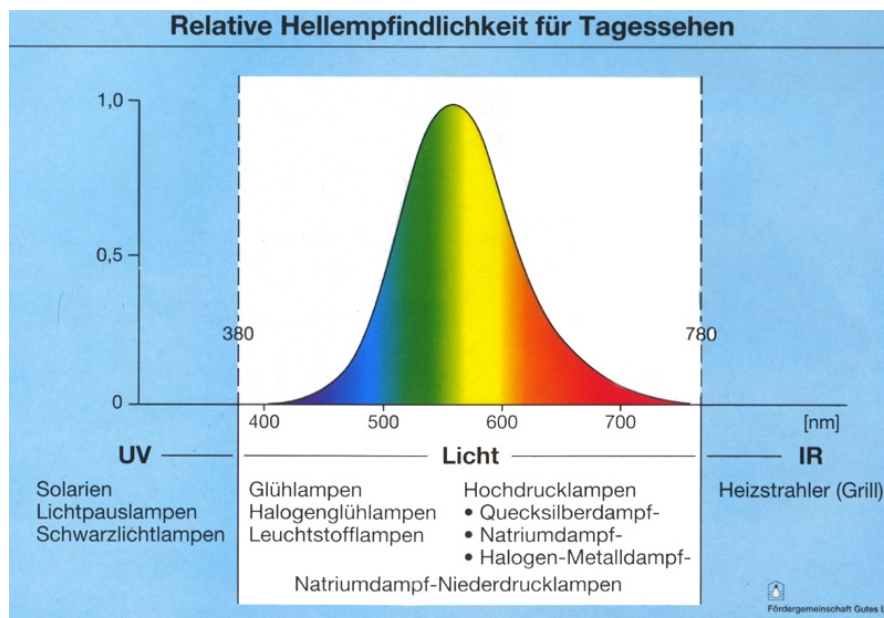


Bild 1 Die Empfindlichkeitsfunktion des Auges für das Tagessehen. Das helladaptierte Auge ist im Grün/Gelben-Bereich am empfindlichsten, für Blau und Rot am unempfindlichsten. Andere Strahlung, z.B. UV aus Solarien oder IR aus glühender Kohle rufen keine Sehempfindung hervor. (Bild Fördergemeinschaft Gutes Licht)

Der Bereich Strahlung, der das Sehen bewirkt, zusammen mit den benachbarten Bereichen, die ihrerseits an die „Röntgenstrahlung“ einerseits und „Radiowellen“ andererseits grenzen, wird „optische Strahlung“ genannt. (Bild 2) Da sich die kürzelwellige Strahlung unterschiedlich auf den Menschen auswirken kann und zudem durch optische Medien wie Glas oder Luft unterschiedlich beeinflusst wird, wird sie in drei Bereiche aufgeteilt (UVA, UVB und UVC).



Bild 2 Aufteilung der optischen Strahlung in Bereiche. Die nicht sichtbaren Strahlungen können von Lichtquellen herrühren, haben physiologische Wirkungen, rufen aber keine Sehempfindung hervor.

Und wenn man das Licht anders sieht?

Die $V(\lambda)$ -Kurve ist nicht die einzige Bewertungskurve für Licht, da sie nur für das sog. „Tagessehen“ gilt. Die Kurve für das Nachtsehen ($V'(\lambda)$ -Kurve) sieht ihr ähnlich aus, ist aber deutlich in Richtung Blau verschoben (Bild 6). Man geht davon aus, dass Tagessehen „nur“ durch die Empfänger beeinflusst wird, die in der Sehgrube sitzen (Zapfen), während für das Nachtsehen die Stäbchen verantwortlich zeichnen, die sich zum größten Teil außerhalb der Sehgrube befinden. (Bild 3) Diese haben ihre höchste Empfindlichkeit in dunklen Umgebungen. Nach einer bestimmten Helligkeit ändert sich die Höhe ihres Signals nicht mehr, was man zum Anlass nahm, die Stäbchen in der Bewertung des Tagessehens nicht zu berücksichtigen.

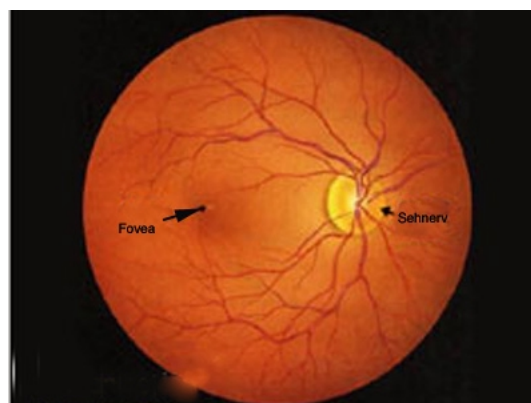
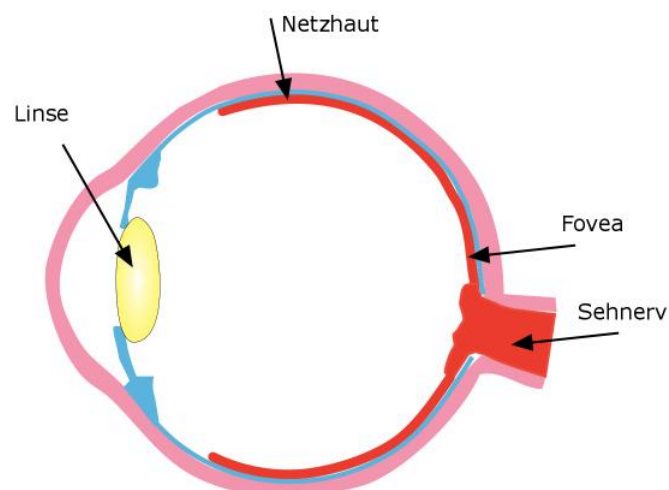


Bild 3 Die Netzhaut mit Lichtempfängern und die Fovea, in der die Zapfen konzentriert sind. Der größte Teil der Netzhaut wird von Stäbchen eingenommen. (unteres Bild: <http://www.quipo.it/occhio/NervootticoANATOMIA.html>)

Strahlung von Lampen bewertet man naturgemäß nach der Kurve für Tagessehen, man will ja eine helle Umgebung schaffen. Deswegen gibt es kaum ein Messgerät, das dem Nachtsehen angepasst ist. Wozu auch?

Dieses Gedankengebilde ist zwar sehr weit verbreitet, stimmt aber höchst wahrscheinlich nicht. Denn die Stäbchen denken nicht daran, ihre Wirksamkeit in hellen Umgebungen völlig zu verlieren. Nach Meinung führender Forscher sind sie immer aktiv, halt nicht immer führend. Man kann daher eine Lichtquelle nach zwei unterschiedlichen Methoden bewerten, und damit zwei unterschiedliche lichttechnische Größen für jeden Betrachtungsgegenstand ableiten, so z.B. für die Beleuchtungsstärke auf dem Tisch. Die Unterschiede sind gravierend, vor allem, was den Menschen angeht, und dies aus mehreren Gründen. Ein wichtiger Beitrag besteht in der unterschiedlichen Beeinflussung der Sehschärfe, was für das Sehen notwendig ist, ein anderer in der Beeinflussung der circadianen Rhythmik des Körpers, was für die Leistungsfähigkeit und Gesundheit des Menschen ausschlaggebend ist. Und die Unterschiede sind nicht etwa klein, sondern wahrlich immens. So ergibt sich zwischen dem Licht einer Natriumdampfniederdrucklampe (Lichtabstrahlung etwa an der höchsten Stelle der $V(\lambda)$ -Kurve) und einer Leuchtstofflampe (Tageslicht) ein Bewertungsunterschied um den Faktor 12 (!), wenn das Licht nach der Empfindlichkeitskurve der Stäbchen bewertet wird. (s. unten).

Vergleich des Lichtstroms von 40W Lampen

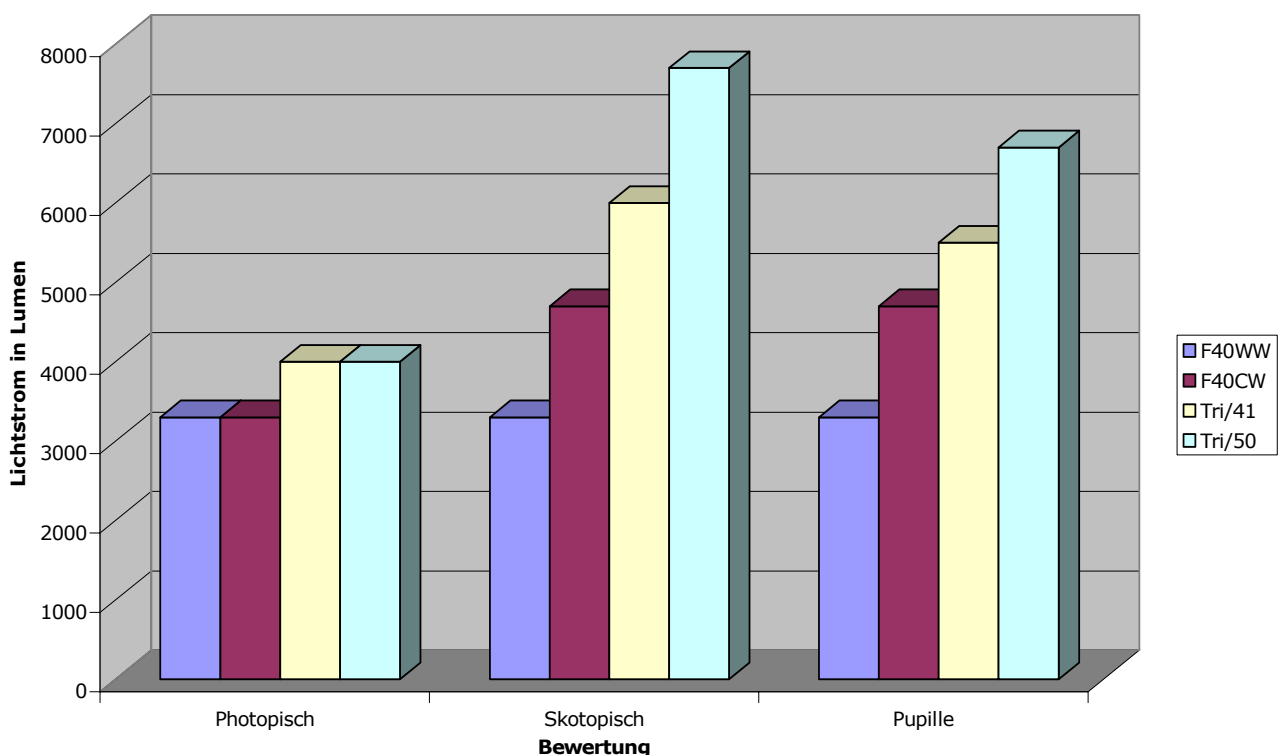


Bild 4 Bewertung des Lichtstroms von vier unterschiedlichen Lampen nach Tagessehen (photopisch), Nachtsehen (skotopisch) und der Wirkung einschließlich des Einflusses auf die Pupille (nach Daten aus I.E.S. Journal, Februar 1992, WW=warm white, CW=cool white, Tri/41=Dreibandenlampe mit 4100 K, Tri/50= Dreibandenlampe mit 5000 K).

In Bild 4 sind alltägliche Lampen abgebildet, deren Wirkung sich immerhin ca. um den Faktor 2 unterscheidet. Lichtquellen mit einem hohen Anteil an blau bzw. rot unterscheiden sich viel stärker.

Und die Rolle der Pupille?

Die Pupille regelt bekanntlich die Menge des Lichts, das bei einer gegebenen Umgebung in das Auge eintreten kann. Sie wird selbst durch das Licht der Umgebung gesteuert. Je heller die Umgebung, desto kleiner die Pupillenöffnung. Soweit nichts Neues. Wie bei der Blende einer Kamera wächst der Entfernungsbereich, den die Pupille scharf abbilden kann, mit abnehmendem Durchmesser. Je heller die Umgebung, desto größer die Schärfentiefe.

So gesehen, funktioniert die Pupille wie eine automatische Blende, aber nur scheinbar, wie man erst letzter Zeit herausgefunden hat. Während die Blende einer Kamera möglichst gut nach der Lichtmenge geregelt werden soll, die man auf dem Film haben möchte, haben Forschungsarbeiten an der Lawrence Berkeley Laboratory (Berman, 1992) gezeigt, dass die Pupille auch in hellen Umgebungen wesentlich durch die Stäbchen gesteuert wird. D.h., die Pupillenweite - und alle damit zusammenhängenden Funktionen – wird nicht durch das Licht bestimmt, das das scharfe Sehen ermöglicht.

Was hinter dieser Erscheinung steckt, ist nicht genau bekannt. Klar berechenbar ist indes, was dies in der Praxis bedeutet: Zwei Lampen mit unterschiedlichem Spektrum können bei gleichen photometrischen Werten (z.B. Leuchtdichte) sehr unterschiedliche visuelle Wirkung (z.B. Sehschärfe) entfalten. Da die Stäbchen ihre höchste Empfindlichkeit im blauen Bereich haben, sind Lichtquellen mit einem relativ höheren Blauanteil (z.B. Halogenmetallampfen) solchen mit einem höheren Anteil im grün-gelben Bereich im Vorteil. Die Folge ist beispielsweise, dass die wunderbar hohe Lichtausbeute der Natriumdampfhochdrucklampe nur noch rechnerisch hoch erscheint, in der visuellen Wirkung aber nicht mehr. (Anders sieht die Rechnung aus, wenn man danach bewertet, welches Licht angenehmer erscheint. Nur bei „Südlichtern“ werden Lampen mit einem höheren Blauanteil bevorzugt, nordwärts ab etwa der Mitte von Deutschland aber wärmeres Licht. In Schweden und Norwegen leistet man sich sogar in Arbeitsumgebungen viel Glühlampenlicht.)

Die hier angeführten Erkenntnisse geben einen weiteren Anlass dafür, die Lichtmessung und –bewertung zu überdenken.

Was heute nicht (angemessen) bewertet wird ...

Farbe und Sehen

Wenn Licht dem Sehen dient, sollte man es doch daran messen, wie gut es das Sehen ermöglicht, vor allem, was für den Benutzer bedeutsam ist. Sehen kann man Formen und Farben – und naturgemäß Veränderungen von beiden. Werden beide Aspekte in der Lichttechnik ihrer Bedeutung entsprechend berücksichtigt? Weit gefehlt!

Wenn man in der Lichttechnik von „Sehleistung“ spricht, meint man fast immer das Formensehen, das Entdecken und Wahrnehmen der physikalischen Erscheinung von Objekten sowie von deren Ortsveränderungen, so z.B. das Erkennen von einem Ball und dessen Flugbewegung. Das Erkennen von Farben gehört nicht unbedingt dazu. Das hat verschiedene Gründe, auch historische. Der historische Grund besteht insbesondere darin, dass sich Menschen mit dem Phänomen Farbe seit Jahrtausenden beschäftigen, mit der Lichttechnik hingegen gerade mal seit 100 Jahren. Zudem musste man, um einer der wichtigsten Aufgaben für die Beleuchtung zu entsprechen, das Lesen von Schriftgut zu ermöglichen, Farbe kaum beachten. Denn zum einen wird traditionell Schriftgut mit bestmöglichem Kontrast erstellt, und wird deswegen fast immer Schwarz auf Weiß gedruckt. Zum anderen besaßen Menschen selten Werkzeuge, mit denen man farbige Objekte zu Papier bringen konnte. Der Umgang weiter Kreise mit Farbe bei Schriftgut ist gerade mal 10 Jahre alt, in der Fotografie ca. 30 Jahre.

Der funktionelle Grund besteht darin, dass Formen physikalische Realitäten sind, die man nur richtig beleuchten muss, um sie erkennen zu können, während Farben nur im menschlichen Gehirn existieren. Die Farbe eines beleuchteten Gegenstands hängt nicht nur von dessen Eigenschaften ab,

sondern in erheblichem Maße von dem Licht, in dem er steht. So jedenfalls, wenn man einen Gegenstand fotografiert. Wenn man ihn direkt anschaut, spielt auch die Umgebung eine Rolle, die die Farbstimmung des Auges mitbestimmt. So wird man z.B. in einem Raum mit roten Wänden eine blaue Blume anders sehen als in einem Raum mit weißen Wänden. Auch wenn dies sich kompliziert genug anhört, gibt es noch einen weiteren Einflussfaktor, der die gesehene Farbe eines Gegenstands mitbestimmt: die Farbe der unmittelbar angrenzenden Objekte. Die gesehene Farbe eines Gegenstands ist somit Ergebnis von vier Einflussfaktoren, das nur im Kopf des Beobachters existiert. Man kann sie weder fotografieren noch messen.

Aus diesen und anderen Gründen beschränkt man sich in der Beleuchtungstechnik darauf, dass man die Farbwiedergabeeigenschaften der installierten Lampen beschreibt. Den hierzu benötigten Wert (Farbwiedergabeindex) kann man in jedem Lampenkatalog finden. Was die Kataloge allerdings nicht sagen, ist die Tatsache, dass die meisten in der Beleuchtung üblicherweise benutzten Lampen eine recht bescheidene Farbwiedergabe aufweisen. Die mit guter Farbwiedergabe, zu erkennen an der „9“ in dem dreistelligen Lampencode (9xx), z.B. Glühlampen oder Leuchtstofflampen „de Luxe“, sind nicht so energieeffizient wie die Lampen mit schlechterer Farbwiedergabe.

Wie unterschiedlich ein und derselbe Gegenstand unter Licht mit verschiedenen Spektralverteilungen aussehen kann, zeigt Bild 5.

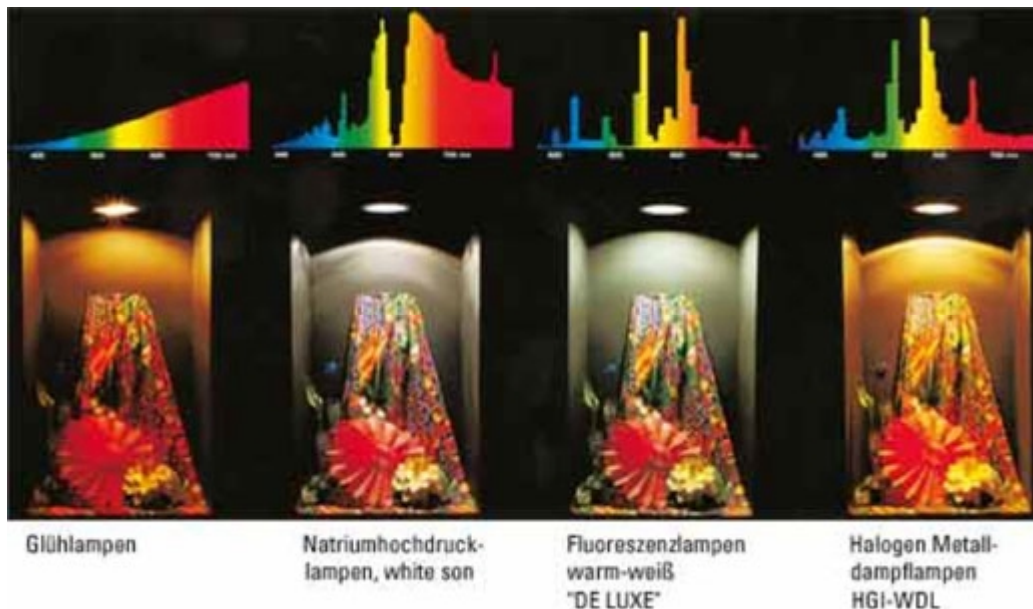


Bild 5 Erscheinung von Objekten bei sehr guter Farbwiedergabe (Glühlampe, links) und bei Licht mit unterschiedlichen Spektren (Quelle: <http://www.hl-technik.de>)

Farbe und Sehen auf Bildschirmen

Während man das Erkennen von Farben auf beleuchteten Gegenständen zwar nicht zur Sehleistung zählt, aber dennoch teilweise berücksichtigt, wird das Erkennen von Farben auf Bildschirmen nicht nur außer Betracht gelassen. Ganz im Gegenteil: Es wird erschwert. Man versucht in Deutschland eine Beleuchtungsnorm für Bildschirmarbeitsplätze zu schaffen (DIN 5035 Teil 7), die die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz um mindestens 20%, für alle Arbeitsräume mit Raucherlaubnis gar um 60% bis 80% erhöhen soll. Warum man den Betrieben solche zusätzlichen Maßnahmen

aufbürden sollte, wird niemand ernsthaft begründen können. Es gibt nämlich keinen vernünftigen Grund. Man kann aber auch ohne wissenschaftliche Begründung verstehen, dass mehr Fremdlicht die ohnehin nicht sonderlich gute Farbwiedergabe auf Bildschirmen nicht etwa fördert. Wenn die Norm angenommen und in die Praxis umgesetzt wird, wird es noch viel mehr Beleuchtungsanlagen geben, die die Benutzer selten oder überhaupt nicht mehr einschalten, weil das zusätzliche Licht ihre Sehaufgaben nicht etwa erleichtert, sondern das Gegenteil bewirkt. Beleuchtung verhindert gutes Sehen! So stellt man sich den technischen Fortschritt mit Sicherheit nicht vor.

Licht und Gesundheit

Die Ausführungen von Mark S. Rea (link Cyberlux, Mehr als Sehen) zur Begründung einer neuen Messtechnik folgen neuen Erkenntnissen über die Wirkungen des Lichts auf den Menschen, die weit über das Sehen hinaus gehen. Man hat in den letzten zwei Jahrzehnten Stück für Stück ermittelt, was alles Licht beim Menschen bewirkt außer Sehen und seine Umwelt erkennen:

- Beleuchtung von Arbeitsstätten beeinflusst Gesundheit und Wohlbefinden (Cakir, 1990)
- Licht kann Winterdepression mildern [Lewy AJ, Kern HA, Rosenthal NE, Wehr TA. 1982]
- Licht kann die Dauer und Tiefe sowie Qualität von Schlaf erhöhen [Lack L, Wright H. 1993]
- Licht kann den Schlaf-/Wachrhythmus von Alzheimerpatienten regulieren [Van Someren et al, 1997]
- Licht kann die Leistungsfähigkeit von Nacht- und Schichtarbeitern erhöhen [Boyce et al, 1997, Figueiro et al, 2001]
- Licht kann die Gewichtszunahme von Frühgeborenen verbessern [Miller et al, 1995, Brandon et al, 2002]
- Die Aktivierung des circadianen Systems wird durch ein jüngst entdecktes Wahrnehmungssystem geregelt [Berson et al, 2002, Hattar et al, 2002]
- Licht reguliert den Melatoninpegel [Lewy et al, 1980], von dem nachgewiesen wurde, dass er das Wachstum von Brustkrebs verringert [Dauchy et al, 1999, Blask et al, 1999]
- Licht beeinflusst die Hirnrindenaktivität direkt [Badia et al, 1991]

Es war seit Jahren bekannt, dass der Wechsel von Lichtbestrahlung für die Steuerung des Tageszeit- und Jahreszeit-bezogenen Verhaltens von Säugetieren außer Menschen bedeutsam ist [Withrow, 1957; Nelson, Zucker, 1981]. Jedoch wurde in weiten Kreisen angenommen, dass der Mensch nicht besonders empfindlich für wechselnde Lichteinflüsse sei. Wie oben bereits erwähnt wurde, wurde in den letzten 30 Jahren klar, dass Hell/Dunkel-Zyklen viele Verhaltensweisen auch des Menschen steuern, einschließlich Winterdepression [Lewy AJ, Kern HA, Rosenthal NE, Wehr TA. 1982], Schlaf-/Wach-Rhythmen [Wehr et al, 1995], Körpertemperatur [Badia et al, 1991], Hirnaktivitäten [Badia et al, 1991], subjektive Wachsamkeit [Monk et al, 1997] und Leistungsfähigkeit [Boyce et al, 1997].

Solche Wirkungen wurden früher nicht nur für unwahrscheinlich gehalten, sondern von Arbeitsmedizinern eindeutig verneint: „Menschen in fensterlosen Fabrikationsräumen haben - sofern diese in arbeitshygienischer Sicht optimal gestaltet sind - keine gesundheitsschädigenden Einflüsse zu befürchten.“ (Schlussfolgerung eines Kongresses der Gesellschaft für Arbeitsmedizin zum Thema fensterlose Arbeitsräume aus dem Jahre 1965). Tageslicht gehörte seinerzeit nicht zur Arbeitshygiene, weil man das menschliche Auge als eine Art Kamera auffasste und für die richtige „Belichtung“ für diese Kamera zu sorgen als einzige Aufgabe für die Beleuchtung ansah.

Die Beleuchtung von Arbeitsstätten dient primär immer noch zum Sehen des Arbeitsgutes. Etwa 80 Jahre lang meinte man auch, damit der Gesundheit Genüge getan zu haben. Offenbar stimmt es

nicht. (Allerdings darf man nicht den Fehler begehen, die künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten deswegen als gesundheitsschädlich anzusehen, wie man seit Jahrzehnten in vielen Publikationen lesen kann.) Da sich die Lichttechniker anscheinend als Arbeitsgut nur ein Blatt Papier auf dem Tisch vorstellen, rechnen sie fast immer mit der Beleuchtungsstärke in der Tischebene. Für die Gesundheit des Menschen ist aber eine helle anregende Umgebung vonnöten, und diese wird hauptsächlich durch die Helligkeit der vertikalen Flächen bestimmt. Das Sehen von Arbeitsgut ist für die Auslegung einer Beleuchtung für die meisten Arbeitsplätze allenfalls von historischer Bedeutung. So kann man einen Laserdruck bei 5 lx einwandfrei und flüssig lesen, und um das Blatt einigermaßen frei platzieren zu können, benötigt man eine Fläche von ca. 60 cm X 60 cm mit 5 lx auszuleuchten. Wer möchte an einem Arbeitsplatz arbeiten, an dem nur diese Fläche beleuchtet ist? Wer sich dies antut, wird zwar lesen können, aber die nächsten 60 Minuten kaum in vollem Bewusstsein erleben. Für eine angenehme und anregende Umgebung braucht man mehr Licht – aber nicht auf der Tischebene, sondern eher auf vertikalen Flächen. Zur Zeit schüttet man das Licht in die Richtung, in der es wenig bewirken kann – und hält dies auch noch für wirtschaftlich und überhaupt sinnvoll.

Wie sollte Licht bewertet werden?

Gesundheit als Maßstab

Wenn wir die vielfachen gesundheitlichen Wirkungen des Lichts auf den Menschen in der Beleuchtung berücksichtigen wollen, werden wir schnell mit einem Problem konfrontiert: Auf welchem Wege erfolgen die Wirkungen denn? Wenn man nämlich die Wirkungsweise von einem Umweltfaktor nicht kennt, kann man diesbezüglich keine technischen Maßnahmen treffen. Beispielsweise gibt es bei der Krebsentstehung zwar bekannte Mechanismen (z.B. Erzeugung von Hautkrebs durch Sonnenstrahlung), diese sind in Innenräumen vermutlich unwirksam.

Bei den für die Beleuchtung von Arbeitsstätten wichtigen Wirkungen geht es nicht um therapeutische Wirkungen, für die es viele Erkenntnisse gibt. Man darf nämlich Arbeitnehmer in ihrer Arbeitsumgebung nicht zwangsweise therapeutischen Maßnahmen unterwerfen. Es geht eher um Vermeidung unerwünschter Wirkungen wie vorzeitige Ermüdung, Benommenheit u.ä. bzw. um Abwehr gesundheitsschädigender Wirkungen, falls nachgewiesen.

Eine Schlüsselwirkung kennt man aber recht genau, auch wenn man nicht ihre mittelbaren Folgen noch exakt ermitteln muss: Die Steuerung der Tagesrhythmik des Melatoninpegels im Blut. Kürzlich wurde von zwei Arbeitsgruppen das Wirkungsspektrum circadianer (nichtvisueller) Photorezeptoren der Netzhaut des Menschen publiziert [Brainard et al, 2001; Thapan et al, 2001]. Als Wirkung wurde die Hemmung der nächtlichen Sekretion von Melatonin durch die Epiphyse (Zirbeldrüse) gemessen. Das Spektrum unterscheidet sich signifikant von den Spektren der Stäbchen- und Zapfenpigmente des visuellen Systems und hat ein Wirkungsmaximum bei etwa 460 nm. (Bild 6).

Eine Berücksichtigung der Wirkungen auf die circadiane Rhythmik kann auf folgenden Wegen erfolgen:

- Durch möglichst gute Anpassung der Lichtverhältnisse in der Arbeitsumgebung an die Tagesrhythmik, z.B. durch hinreichend hohe Tageslichtbeleuchtung. Hierdurch können negative Wirkungen vermieden werden, die man häufig als gesundheitsschädigende Wirkungen der künstlichen Beleuchtung ansieht.
- Bei künstlicher Beleuchtung durch Berücksichtigung der Melatoninsuppression zu unterschiedlichen Tageszeiten und bei unterschiedlichen Lichtquellen (näheres Ehrenstein und Rea). Bezüglich dieser Wirkung unterscheiden sich in der Beleuchtung übliche Lampen etwa um den Faktor 3, wenn eine Umgebung, photometrisch gemessen, gleich ist. Der Unterschied kann bis zu 1200 betragen, wenn z.B. gelbe und blaue LEDs miteinander

verglichen werden. Durch sachgerechte Auswahl der Beleuchtung können unerwünschte Wirkungen vermieden bzw. erwünschte herbeigeführt werden.

Wenn man die gesundheitlichen Wirkungen sinnvoll ermitteln und planen will, braucht man nach Rea eine neue Mess- und Bewertungsmethode, die auf der Basis der Empfindlichkeitskurve der circadianen Empfänger beruht. Messverfahren, die auf der derzeitigen Photometrie beruhen, sind hierzu ungeeignet. Ein solches Verfahren ist nicht ungewöhnlich, z.B. gibt es seit Jahrzehnten Empfänger, die nach der Bilirubinabsorption durch die Haut arbeiten.

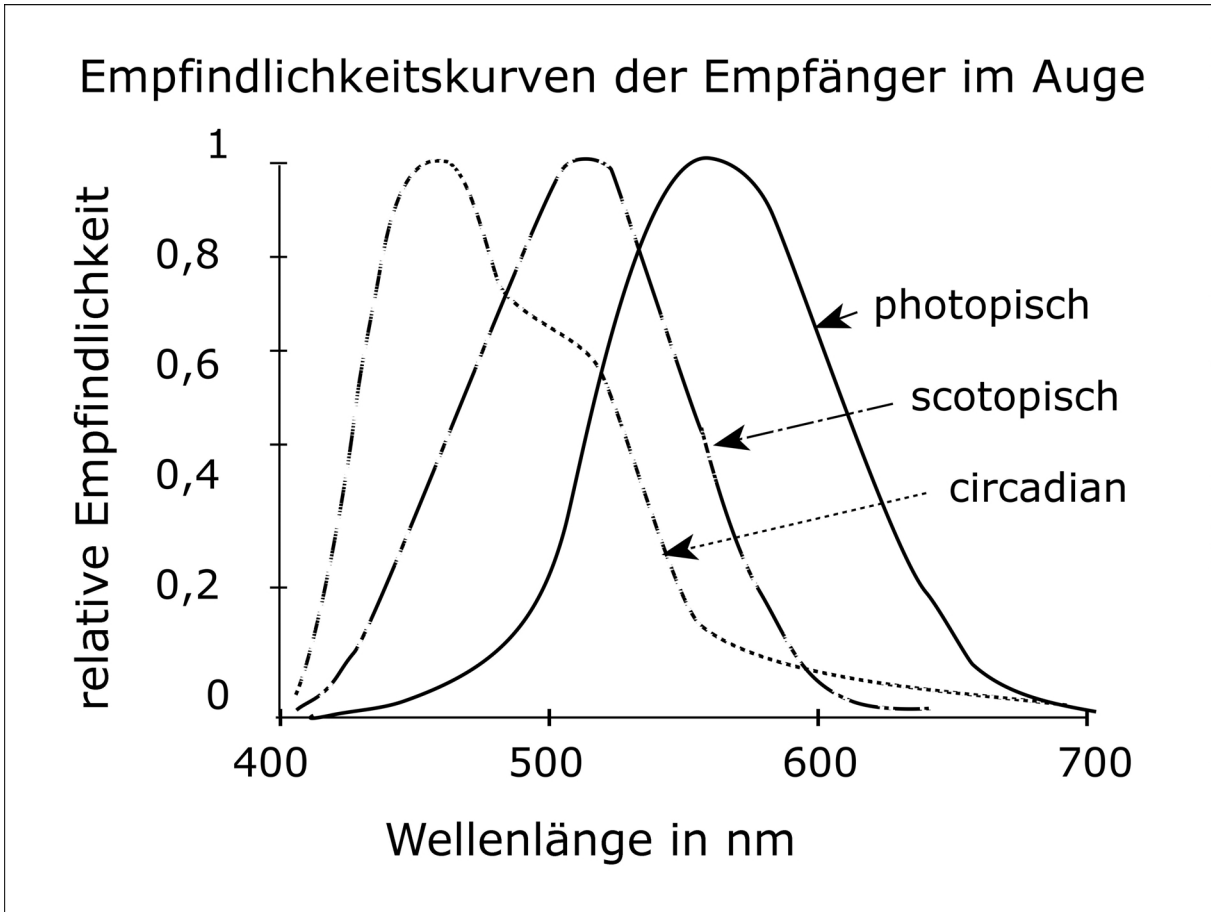


Bild 6 Die spektrale Empfindlichkeit der Empfänger im Auge. Die durchgezogene Linie ist die in der Photometrie benutzte Kurve für Zapfen (photopisch), die strichpunktirierte gibt die Empfindlichkeit der Stäbchen wieder. Die mit „circadian“ bezeichnete Kurve ist empirisch für die Empfänger ermittelt worden, die die Melatoninsuppression steuern.

Das eigentliche Problem besteht daher nicht im Messen, weil die entsprechende Änderung der Messköpfe überhaupt kein Problem darstellt. Die Schwierigkeiten liegen im Bewerten, da man bei photopischen Größen und ihrer Wirkung auf sehr lange Erfahrungen zurück blicken kann, während man bei gesundheitlichen Wirkungen Neuland betritt. Hierzu muss noch viel Grundlagenarbeit geleistet werden.

Ein grundsätzliches Problem besteht darin, dass eine Beleuchtung, die für eine „optimale“ gesundheitliche Wirkung ausgelegt würde, nicht notwendigerweise den Sehaufgaben am Arbeitsplatz gerecht wird. Ein ähnliches Problem ist ja aus der Wohnraumbeleuchtung bekannt. Eine „schöne und gemütliche“ Wohnraumbeleuchtung taugt nicht immer viel, wenn man dort Zeitung lesen möchte. In der Arbeitswelt kennen das Problem Mitarbeiter an CAD-Arbeitsplätzen und Grafiker an multimedialen Einrichtungen zu Genüge. Viele von ihnen arbeiten ohne Licht, um (Farben) besser sehen zu können. Gesund ist das nicht.

Sehen als Maßstab

Hierzu muss eine Methode gefunden werden, die die Wirkung der Stäbchen berücksichtigt. Bei Lampen kann man dies theoretisch berechnen, wie es beispielsweise für vier Lampen in Bild 4 geschehen ist.

Bei Tageslicht würde eine Neubewertung zeigen, dass die Beleuchtungswirkung von Tageslicht mit derzeitigen Methoden weit unterschätzt wird. Das bedeutet so viel wie, dass 1 lx Tageslicht viel mehr als 1 lx, photopisch gemessen, ist.

Für die Beleuchtung von Arbeitsstätten muss man Lösungen finden für den Fall, dass eine für das Sehen gestaltete Umgebung den Anforderungen widerspricht, die sich aus der Berücksichtigung gesundheitlicher Wirkungen ergeben. Solche Lösungen sind in der Arbeitswelt nichts Neues, hat man doch viele Großraumbüros „rückgebaut“, um mehr Tageslicht an den Arbeitsplatz zu bringen.

Leider sind derartige Lösungen zum einen nicht immer möglich und zum anderen zuweilen mit massiven Wärmeproblemen verbunden, die man nicht außer Acht lassen darf. Zudem werden immer mehr Arbeitsplätze mit mehreren Bildschirmen bestückt, und es wird immer mehr mit Farbe gearbeitet, wodurch ein besserer Schutz gegen Sonnenlicht erforderlich wird. (Sonnenschutz im Büro von Sylke Neumann link)

Farbsehen als Maßstab

Jede sorgfältig gestaltete Umgebung, ob Opersaal, Restaurant oder Wohnzimmer, offenbart sich dem Betrachterauge durch ihre farbliche Zusammensetzung, und man wird einem Produkt kein gutes Design bescheinigen, das sich nicht durch geschmackvoll abgestimmte Farben präsentiert. Verkaufsräume werden kunstvoll um die Ware herum mit Farben ausgeschmückt, damit der Käufer sich wohl fühlt und das Angebot dem Käuferauge schmeichelt. Und was ist mit unserer Arbeitsumgebung? Mit Ausnahme derjenigen Stellen, an denen sich ein Unternehmen der Öffentlichkeit präsentiert, z.B. Verkaufsräume, Kundenberatungsstellen oder Foyers, herrscht häufig das kalte Grauen, kieselgraue Melaminoberflächen auf Möbeln und ihre Pendants in Lack und Pulverbeschichtung auf Geräten – Grau so weit das Auge blickt. Die Büros erlebten in den letzten vier Jahrzehnten zwar eine technische Revolution nach der anderen, in Sachen Farbe haben sie sich nur von „Eichehell“ über „Beige“ zu „Computerschmuddelgrau“ entwickeln können. Wenn sich die Träume mancher Computerfirmen erfüllen, die sich die Farbe Schwarz an Tastaturen und Computergehäusen wünschen (und sogar das Wirtschaftsministerium eingeschaltet haben, weil dies deutschen Arbeitsschützern gegen den Strich geht), werden wir gegen Ende des ersten Jahrzehnts des 21. Jahrhunderts dort ankommen, wo wir 50 Jahre zuvor gewesen sind: Schwarz als „Profi-Look“. Wenn das kein Fortschritt ist!

Farbsehen als Maßstab in der Beleuchtungstechnik – das wär´ doch was! Leider sieht es nicht danach aus, dass eine solche Vorstellung realistisch wäre. Man muss sich aus heutiger Sicht schon zufrieden geben, wenn das Problem überhaupt verstanden wird. Daher wird das Farbsehen nicht in absehbarer Zeit zum (Haupt)Maßstab für Beleuchtung werden. Trotzdem sollte man bei der Planung folgende Aspekte im Auge behalten:

1. Für die Wiedergabe von Farben ist das Spektrum des Lichts wichtig. Je „voller“ das Spektrum, desto besser die Farbwiedergabe. Leider verbrauchen Lampen mit guter Farbwiedergabe pro Lumen mehr Watt als solche mit schlechter Farbwiedergabe.
2. Energiesparlampen „sparen“ häufig Energie, indem sie das Licht dort abstrahlen, wo das Auge (Bild 1) rechnerisch am empfindlichsten ist. Hierdurch werden Farben verfälscht. Daher sollte man beim Einsatz von „Energiesparlampen“ immer die Farbwiedergabe prüfen. Der im Katalog gedruckte Farbwiedergabeindex ist nicht unbedingt verlässlich.

3. Das Sehen von Farben auf dem Bildschirm wird durch das Fremdlicht mehr oder weniger stark negativ beeinflusst. Farben leiden stärker als Kontraste.
4. Flachbildschirme sind zwar gegen Fremdlicht im Allgemeinen weniger empfindlich als CRT-Röhren, sie weisen aber meistens eine schlechtere Farbwiedergabe auf.
5. Wer häufig farbige Objekte auf dem Bildschirm betrachten und auf dem Papier weiter geben möchte, muss zum einen eine gute Beleuchtung für die Ausdrucke haben und zum anderen wenig Fremdlicht auf seinem Bildschirm. Aber auch dann ist improvisieren angesagt, weil nur erfahrene Profis bereits auf dem Bildschirm sehen, was nachher auf dem Papier steht.

Aussichten

Die „gesundheitsgerechte“ Beleuchtung ist derzeit noch als Idee und wissenschaftliches Konzept im Entstehen. Daran ändert auch die Tatsache nicht, dass die Industrie seit 80 Jahren behauptet, die Beleuchtung diene der Gesundheit. Sie muss nur normgerecht sein. In den neuesten Normen darf dies übrigens nicht mehr behauptet werden.

Ein erster Fortschritt wurde dadurch erreicht, dass die Europäische Arbeitsstättenrichtlinie und die künftige Arbeitsstättenverordnung der Bundesrepublik Deutschland Tageslicht als primäre Beleuchtung in den Vordergrund stellen. Wir werden in nächster Zukunft immer mehr Tageslicht in unseren Arbeitsstätten erleben, nicht nur deswegen, sondern zum Zwecke des Energiesparens. Gesund sowie ökonomisch und ökologisch sinnvoll, die Entwicklung. (s. Tageslicht und Ergonomie von Ahmet und Gisela Cakir link)

Leider löst dies das Beleuchtungsproblem nur teilweise, weil man keine „gesunde“ Arbeitsorganisation ohne künstliches Licht aufbauen kann. Vielleicht springen da die Verantwortlichen mal über ihren Schatten und fragen die Nutzer, ob lieber mehr Lux auf dem Arbeitstisch haben wollen oder lieber schönere Farben. Derzeit versuchen sie aber, trickreich die Luxzahlen zu erhöhen – so ganz nach dem Muster der frühen 30er Jahre. So werden die, die stets das Helle wollen, zur treibenden Kraft, die das Dunkle schafft: Die Benutzer schalten das Licht halt ab, wenn es ihnen nicht gefällt.

Literatur

Badia P, Myers B, Boecker M, Culpepper, J. 1991. Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and Behavior. *Physiol Behav* 50(3): 583- 588.

Berman, S. M. 1992 Energy Efficiency Consequences of Scotopic Sensitivity, *JOURNAL of the Illuminating Engineering Society* Winter 1992

Berson DM, Dunn FA, Takao M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295(5557): 1070-1073.

Blask D, Sauer L, Dauchy R, Holowachuk E, Ruhoff M, Kopff H. 1999. Melatonin inhibition of cancer growth in vivo involves suppression of tumor fatty acid metabolism via melatonin receptor-mediated signal transduction events. *Cancer Res* 59: 4793-4701.

Boyce P, Beckstead JW, Eklund NH, Strobel RW, Rea MS. 1997. Lighting the graveyard shift: The influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of nightshift workers. *Light Res Technol* 29(3): 105- 134.

Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greenson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., and Rollag, M. D., *J.Neurosci.* 21, 6405 (2001)

- Brandon DH, Holditch-Davis D, Belyea M. 2002. Preterm infants born at less than 31 weeks' gestation have improved growth in cycled light compared with continuous near darkness. *J Pediatr* 140(2): 192-199.
- Cakir, A. *Licht und Gesundheit - Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros*, Ergonomic, Berlin, 1990
- Dauchy RT, Blask DE, Sauer LA, Brainard GC, Krause JA. 1999. Dim light during darkness stimulates tumor progression by enhancing tumor fatty acid uptake and metabolism. *Cancer Lett* 144: 131-136.
- Figueiro MG, Rea MS, Boyce P, White R, Kolberg K. 2001. The effects of bright light on day and night shift nurses' performance and well-being in the NICU. *Neonatal Intens Care* 14(1): 29-32.
- Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, Yau KW. 2002. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* 295(5557): 1065-1070.
- Lack L, Wright H. 1993. The effect of evening bright light in delaying the circadian rhythms and lengthening the sleep of early morning awakening insomniacs. *Sleep* 16(5): 436-443.
- Lewy AJ, Wehr TA, Goodwin FK, Newsome DA, Markey SP. 1980. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 210(4475): 1267-1269.
- Lewy AJ, Kern HA, Rosenthal NE, Wehr TA. 1982. Bright artificial light treatment of a manic-depressive patient with seasonal mood cycle. *Am J Psychiatry* 139(11): 1496-1498.
- Miller CL, White R, Whitman TL, O'Callaghan MF, Maxwell SE. 1995. The effects of cycled versus noncycled lighting on growth and development in preterm infants. *Infant Behav Develop* 18(1): 87-95.
- Monk TH, Buysse DJ, Reynolds CF, Berga SL, Jarrett DB, Kupfer DJ. 1997. Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *J Sleep Res* 6(1): 9-18.
- Nelson RJ, Zucker I. 1981. Absence of extraocular photoreception in diurnal and nocturnal rodents exposed to direct sunlight. *Comp Biochem Physiol* 69A: 145-148.
- Rea MS, Figueiro MG, Bullough JD. 2002. Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research. *Light Res Technol* 34(3): 177-190.
- Thapan, K., Arendt, J., and Skene, D. J., *J.Physiol* 535, 261 (2001)
- Van Someren EJW, Kessler A, Mirmirann M, Swaab DF. 1997. Indirect bright light improves circadian rest-activity rhythm disturbances in demented patients. *Biol Psychiatry* 41: 55-963.
- Wehr T, Schwartz P, Turner E, Feldman-Naim S, Drake C, Rosenthal N. 1995. Bimodal patterns of human melatonin secretion consistent with twooscillator model of regulation. *Neurosci Lett* 194: 105-108.
- Withrow RB (ed.). 1957. *Photoperiodism*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.