

Vollspektrumlicht – Eine kritische Würdigung der Literatur aus der Sicht von 2009.....	1
Anlass .....	1
Was ist „Vollspektrumlicht“ .....	2
Behauptete Effekte der Vollspektrumbeleuchtung.....	5
Forschungsergebnisse .....	6
Güte der Simulation.....	6
Biologische Wirkungen .....	7
Wirkungen des UV-Anteils.....	8
Verbesserung der Sehleistung.....	9
Sehkomfort .....	10
Wahrnehmung und Leistungsfähigkeit.....	10
Schlussfolgerungen .....	11
Weiterführende Literatur und Links zum Thema.....	11
Literatur.....	12

## **Vollspektrumlicht – Eine kritische Würdigung der Literatur aus der Sicht von 2009**

**Ahmet E. Çakir**

### **Anlass**

Die Studien, die vom ERGONOMIC Institut zum Thema „Licht und Gesundheit“ durchgeführt und seit dem Jahr 1990 in dem gleichnamigen Forschungsbericht veröffentlicht wurden, haben das sog. „Vollspektrumlicht“ stets unberücksichtigt gelassen. Der Grund für uns war die mangelnde Installationsbasis in der Praxis, die eine groß angelegte Feldstudie nicht zuließ. Mit kleineren Feldstudien, an denen nur wenige Testpersonen teilgenommen haben, hat man zwar den größten Teil des Wissens in der Lichttechnik ermittelt, jedoch würden nur wenige empirische Arbeiten auf diesem Gebiet auch nur halbwegs strengen Anforderungen an wissenschaftliche Methodik erfüllen. Die Literatur um eine neue Publikation zu erweitern, die mit Mängeln behaftet wäre, die der Autor an anderer Stelle kritisiert, verbietet sich von selbst.

Im Jahre 2001 war es durch eine Veröffentlichung der Autorinnen Veitch, J. A.; McColl, S. L. zu diesem Thema möglich geworden, die bis dahin bekannte Literatur zu sichten und zu bewerten. Naturgemäß konnte dies nur mit einer Auswahl vorgenommen werden, weil zum Thema Vollspektrumlicht viele Veröffentlichungen existierten. Daher fehlten in den damaligen Betrachtungen einige Studien. Dies allein wäre nicht Grund genug, eine Arbeit - die Veröffentlichung von 2001 - selbst zu überprüfen. Aber ein anderes Ereignis aus dem gleichen Jahr, das die Lichttechnik in den Grundfesten erschüttert hat, macht dies zwingend notwendig. Im Jahr 2001 wurde im Auge ein Rezeptor entdeckt, den der eigentliche Entdecker, der Brite Prof. Foster, für eine Chimäre hielt, weil er der Meinung war, dass die Forschung so etwas unmöglich mehrere Jahrhunderte lang hätte übersehen können. So ähnlich erging es dem deutschen Augenmediziner Prof. Hollwich, der seit den 1940er Jahren behauptet hatte, vom Auge ginge ein zweiter Kanal zum Gehirn, der mit Sehen nichts zu tun hätte. Bei ihm war es die Fachwelt, die nicht glauben wollte, dass Hollwich etwas entdeckt hätte, was andere überhaupt nicht bemerkt hatten.

Dieser Empfänger dient, wie von Hollwich behauptet, nicht einem bildhaften Sehen, sondern der Wahrnehmung der Umwelt zum Zwecke der Steuerung von Hormonen. Da sich dessen Empfindlichkeitskurve erheblich von der für das Sehen maßgeblich gehaltenen  $V(\lambda)$ -Kurve unterscheidet, das Maximum liegt im blauen Bereich, muss man die Bewertung von „Vollspektrumlicht“ kritisch überprüfen. Das Licht der Lampen, die so bezeichnet werden, unterscheidet sich nämlich von anderen wesentlich durch sein Spektrum.

## Was ist „Vollspektrumlicht“

Die nachfolgenden Erläuterungen stammen aus der Veröffentlichung von 2001 (Cakir, A; Cakir, G., 2001) und stimmen mit der heutigen Sichtweise überein.

Auf diese Frage lässt sich eine einfache und eine erklärende Antwort finden. Die einfache Antwort ist: „Vollspektrumlicht“ ist Tageslicht bzw. dessen Simulation mit elektrisch erzeugtem Licht. Diese Antwort kann aber nicht befriedigend sein, da man bei der Suche nach dem Spektrum des Tageslichts nicht nur ein Spektrum finden wird.

Erklären kann man das Wort „Vollspektrumlicht“ ausgehend vom Spektrum einer Entladungslampe (s. Bild 1).

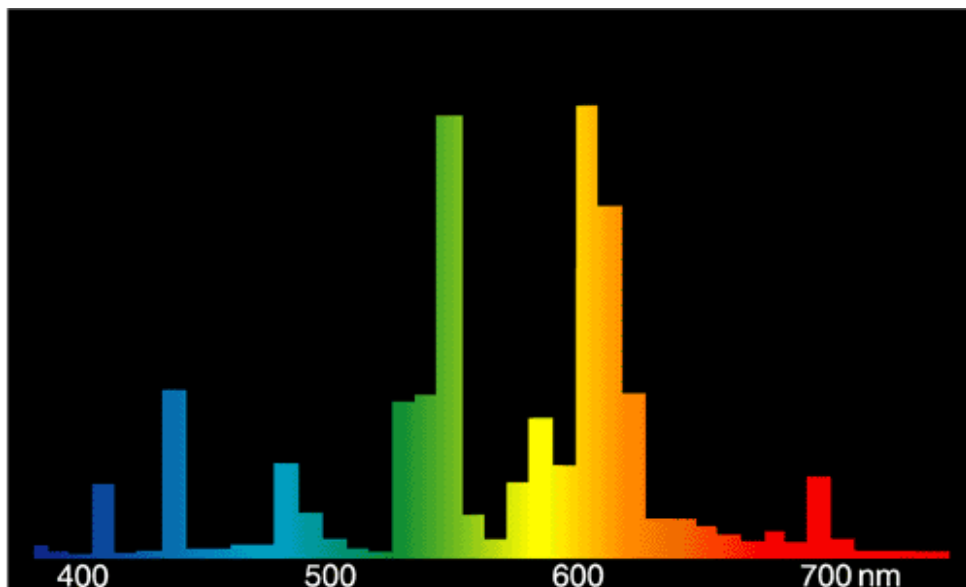


Bild 1 Spektrum einer Entladungslampe (Quelle <http://www.cwaller.de>)

Dieses Spektrum ist geprägt durch Licht mit ausgesprochen ungleichmäßiger Verteilung mit einem übermäßig großen Anteil im grünen bzw. gelben Bereich. Als „Voll“ bezeichnet man das Spektrum, wenn es etwa der (gleichmäßigen) Verteilung des Sonnenlichts entspricht, das aus Bild 2 hervorgeht.

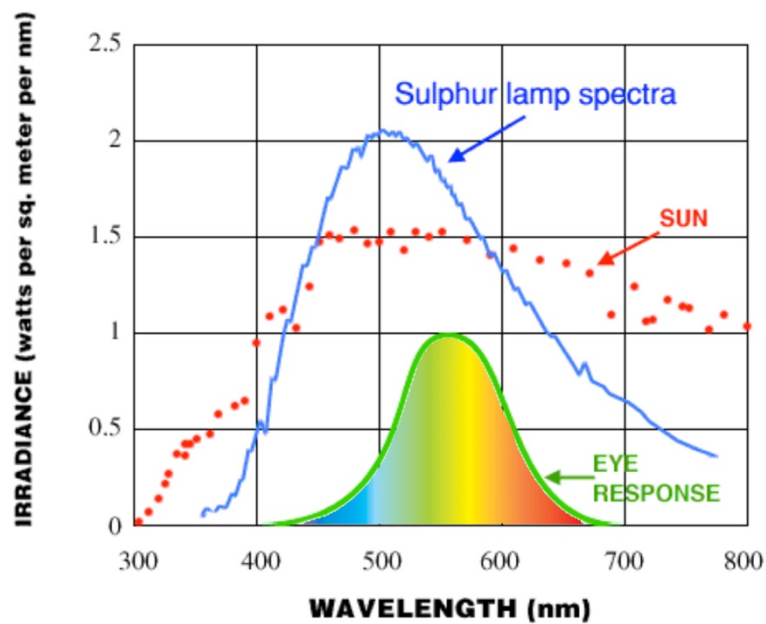


Bild 2 Verteilung des Spektrums des Sonnenlichts und einer Schwefellampe (Quelle: <http://international.mmm.com>, verändert zur Veranschaulichung des sichtbaren Bereichs)

Diese Kurven zeigen, dass das Sonnenlicht (nicht zu verwechseln mit Tageslicht) ein kontinuierliches Spektrum aufweist, das zwar im Bereich der höchsten Augenempfindlichkeit etwa den Höchstwert hat, aber nicht nur dort. Ein erheblicher Teil der Sonnenstrahlung wird bei kleineren Wellenlängen (< 380 nm) emittiert als Licht, das ist die lebenswichtige UV-Strahlung. (Anm.: Die vielfach benutzte Bezeichnung „UV-Licht“ entspricht nicht der lichttechnischen Nomenklatur.)

Was in der Praxis als „Vollspektrumlampe“ bezeichnet wird, emittiert zum einen ein wesentlich „volleres“ Spektrum als in Bild 1 und zum anderen einen Anteil an UV-Strahlung. Allerdings ist die Näherung an die Spektralverteilung des Sonnenlichts alles andere als ideal (Bild 3). Häufig werden die Emissionsspitzen zur Verschönerung des Bildes gekappt, wodurch man eine nicht vorhandene Gleichmäßigkeit vortäuscht.

Die „Vollspektrumlampen“ zeichnen sich dadurch aus, dass ihre ähnlichste Farbtemperatur oberhalb 5.000 K liegt und ihre Farbwiedergabe den meisten Leuchtstofflampen überlegen ist (allgemeiner Farbwiedergabeindex >90). Damit wirkt ihr Licht „kälter“ als bei Lampen der Lichtfarben „warmweiß“ und „neutral weiß“. (Anmerkung: Die Vorstellung „höhere Farbtemperatur = kälteres Licht“ ist nicht ohne weiteres verständlich, weil man mit höheren Temperaturen die Vorstellung von mehr Wärme verbindet. Etwas verständlicher wird es, wenn man sich den blauen Himmel anschaut und dessen Licht mit dem einer Kerze vergleicht. Die Kerze, deren Flamme eine Temperatur von über 1500 Kelvin aufweist, wirkt sehr viel wärmer als das Licht des Himmels, um es zu erzeugen nicht einmal die Temperatur des Lötbrenners (über 5.000 K im Kern) ausreicht. Um das klare nördliche Himmelslicht zu erzeugen, müsste ein Körper auf etwa 15.000 K erhitzt werden.)

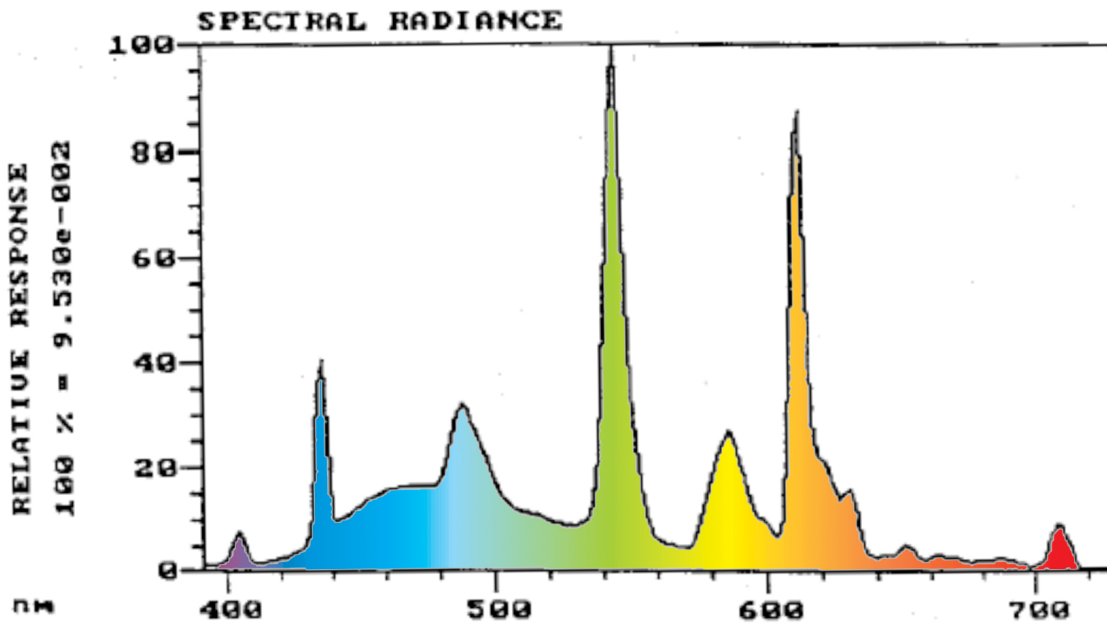
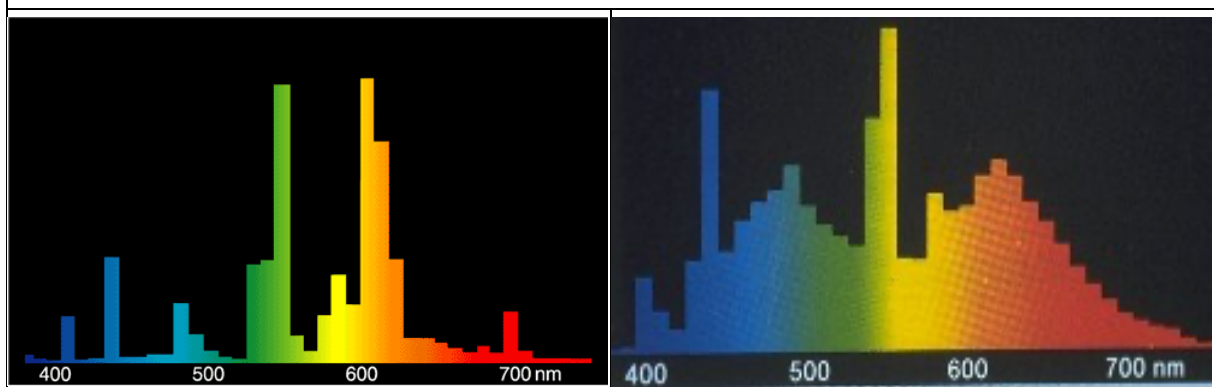


Bild 3 Spektrum einer Vollspektrumlampe (Quelle: Boyce, 1994, verändert zur Veranschaulichung des sichtbaren Bereichs)

Eine frühere Auseinandersetzung mit der „Vollspektrumlampe“ und ihren Eigenschaften findet sich in Boyce, 1994.

Die Anhebung der spektralen Anteile des Lichts einer Lampe hat in der Regel einen gravierenden Einfluss auf deren Lichtausbeute. Bei zwei Lichtquellen mit ähnlicher Technik der Lichterzeugung (z.B. Leuchtstofflampen) weist diejenige, die ein gleichmäßiges Spektrum emittiert, immer eine kleinere Lichtausbeute auf als diejenige, die vorwiegend im gelb-grünen Bereich emittiert. Dieser Unterschied ist nicht etwa marginal, vielmehr verbrauchen „DeLuxe“-Lampen (Bild 4) mit besserem Spektrum für die Erzeugung des gleichen Lichtstroms bis zu 60% mehr Energie als vergleichbare Lampen mit schlechterem Spektrum. Für einen Bauherrn heißt dies, dass man bei einem gewissen Beleuchtungsniveau etwa 2/3 mehr an Lampen bzw. Leuchten installieren müsste. Allerdings muss man dazu bedenken, dass die gängige Beleuchtungspraxis, bei der man den größten Teil des Lichts sinnlos im Raum verteilt, nicht gerade als intelligent bezeichnet werden kann. Denkbar ist, dass man Lampen mit einem besseren Spektrum (und daher schlechterem Wirkungsgrad) einsetzt, aber trotzdem gegenüber einer üblichen Beleuchtung Energie spart, indem das Licht zielgerichtet eingesetzt wird.

Bild 4 Vergleich der Spektren einer relativ billigen Entladungslampe und einer DeLuxe-Lampe (Quelle: <http://www.cwaller.de>)



## Behauptete Effekte der Vollspektrumbeleuchtung

Der Vater der Idee der Vollspektrumlampe, John N. Ott, hat eine Reihe von gesundheitlichen Schäden mit der künstlichen Beleuchtung mittels Leuchtstofflampen in Verbindung gebracht. Er selbst war überzeugt, dass das bessere Licht seine Gesundheit förderte, und zog deswegen nach Sarasota, Florida. Seinen Glauben an die Wirkung des Lichts hat er zum einen durch Experimente mit Pflanzenwachstum gefunden und zum anderen durch Erfahrungen von U-Bootbesatzungen, die nach der Einführung von nuklear angetriebenen Unterwasserschiffen Monate ohne Sonnenlicht verbringen mussten. Ott hat gezeigt, dass der Körper bei „falscher“ Beleuchtung nicht alle Nährstoffe optimal aufnehmen kann, wodurch nicht nur Ermüdung oder Depressionen entstehen können. Weitere Wirkungen, die Ott angeführt hat, reichen von Haarausfall bis Krebs.

In anderen Veröffentlichungen wurden folgende Wirkungen angeführt (Gifford, 1994):

Physiologische Wirkungen	Erhöhung der Sehschärfe
	Verminderung der Ermüdung
	Verminderung der Kariesgefahr
	Beschleunigung der Körperreife
	Verbesserung der Nervenfunktionen
Therapeutische Wirkungen	Reduzierung der Winterdepression
	Reduzierung der Blumie
	Reduzierung des Hyperaktivität
Leistungsfähigkeit	Erhöhung des Schulerfolgs
	Verbesserung der Teilnahme am Unterricht
	Verbesserung der Aufmerksamkeit
Befindlichkeit und Wahrnehmung	Steigerung des Wohlbefindens
	Bessere Akzeptanz des Lichtspektrums

- Vollspektrumlicht soll das Sehvermögen dramatisch steigern, das Lernverhalten von Schülern und den Lernerfolg verbessern.
- Der UV-Anteil der emittierten Strahlung soll in Arbeitsstätten die Wirkung ersetzen, die das Tageslicht im Freien ausüben würde. Hierzu ist zu bedenken, dass der Mensch in Industriegesellschaften bis zu 90% seines Lebens in geschlossenen Räumen verbringt, in die Tageslicht nicht, wenig oder spektral verändert eintritt.
- Vollspektrumlampen sollen bei der Therapie von Winterdepression erfolgreich sein (Maas, Jayson & Kleiber, 1974). Sie sollen sich positiv bei Hyperaktivitätsstörungen von Kindern auswirken.

Insgesamt werden ausschließlich positive Wirkungen behauptet, die von einer Verbesserung der Befindlichkeit bis hin zur Verhütung von Krebserkrankungen reichen.

Diesbezügliche Behauptungen wurden früher als nicht seriös abgetan, weil man sich keinen Wirkmechanismus vorstellen konnte. Bei üblichen Einwirkungen, z.B. von Giften oder gasförmigen Stoffen, stellt man sich die Einwirkung häufig nach dem S-O-R Modell vor. Dabei steht „S“ für

Stimulus (Reiz), „O“ für Organismus und „R“ für Reaktion. Diesem Konzept liegt die Vorstellung zugrunde, dass ein Stimulus (zum Beispiel ein Wirkstoff) im Organismus verarbeitet wird und so dann zu Reaktionen führt (zum Beispiel zu gesteigerter Arbeitsleistung). Das S-O-R-Konzept wurde 1929 von Robert S. Woodworth eingeführt. Wie könnte Licht (Reiz), von Außen auf die Haut einwirkend, zur Veränderung eines inneren Organs (z.B. Dickdarmkrebs) führen? Zwar hatte man bereits in den 1980er Jahren wissenschaftlich fundierte Hinweise über einen Zusammenhang von bestimmten Krebserkrankungen und Licht. Eine Vorstellung von der Wirkungsweise hatte man aber nicht. (Auch heute weiß man zu wenig darüber, man hat aber eine Vorstellung davon, wie die Einwirkung erfolgen könnte.)

Die heute in der Beleuchtungstechnik übliche Vorstellung, dass die genaue Zusammenstellung der Strahlung in einem Spektrum unwichtig sei gegenüber der vom Auge erzeugten „Lichtfarbe“, geht auf eine Wirkungsweise zurück, die man der Physik entlehnt hat: *„Es gehört zu den Grundgesetzen der Physik und der Biophysik, daß nur dort eine Wirkung erzielt werden kann, wo Strahlung absorbiert wird. Für die Absorption von Licht im Auge sind im Bereich des Tagessehens drei Zapfenpigmente verantwortlich, deren Absorptionskurven sich jeweils über mehr als 100 nm erstrecken. Das Farbsehen des Menschen basiert also darauf, daß der Lichtreiz, wie immer er auch spektral zusammengesetzt sein mag, von den drei Zapfenpigmenten entsprechend ihren Absorptionskurven absorbiert wird und daraus drei entsprechende Rezeptorsignale resultieren. Aus den Rezeptorsignalen kann nicht mehr eindeutig auf die spektrale Zusammensetzung der erregenden Strahlen zurückgeschlossen werden. Es ist seit langem bekannt, daß das Auge nicht in der Lage ist, die spektrale Zusammensetzung des Lichtes zu erkennen. Wir registrieren gewissermaßen nur einen Summeneindruck, den wir als Farbe bezeichnen. Da nun der primäre Absorptionsprozeß bereits in der Netzhaut abläuft, also die Information über die spektrale Zusammensetzung des Primärlichtes zwangsläufig dort bereits verloren geht, können alle nachgeschalteten Nervenzellen nur noch die durch drei Komponenten festgelegte Farbe, aber nicht mehr die spektrale Zusammensetzung des Primärlichtes, registrieren.“* (Hartmann und Müller-Limmroth, 1981)

Demnach ist es gleichgültig, wie sich das Spektrum zusammensetzt, sofern die Signale aus den drei Pigmenten gleich sind. Diese Vorstellung wurde auch im Jahre 2009 in mindestens zwei Fällen publiziert. Allerdings kann man sich dann überhaupt nicht erklären, wie sich das Spektrum sogar auf die Physiologie des Menschen auswirkt. So wurde z.B. experimentell festgestellt, dass die Lichtfarbe vom Licht die Wärmeempfindung eines Raums zu einem späteren Zeitpunkt beeinflusst (). Oder, dass die Lichtfarbe den Verlauf der Körperkerntemperatur beeinflusst, wie Morita und Tokura (Morita und Tokura, 1996) gezeigt haben: Die Arbeit zeigt, dass die Lichtfarbe von üblichen Lampen (3000K und 6500K) einen messbaren Einfluss auf physiologische Größen ausübt. D.h.; es ist nicht gleichgültig, welche Lichtfarbe gewählt wird.

Die Fülle von Forschungsergebnissen, die die Wirksamkeit der spektralen Zusammensetzung des Lichts auf viele physiologische Vorgänge zeigen, legt nahe, die früheren Positionen gründlich zu überdenken. Da bei vielen Studien bereits relativ moderate Unterschiede in der Lichtfarbe (z.B. warmweiß gegen neutralweiß) als wirksam nachgewiesen werden konnten, scheint es wahrscheinlich, dass das wesentlich unterschiedliche Spektrum der Vollspektrumlampen eine größere Wirkung entfaltet.

## Forschungsergebnisse

### Güte der Simulation

Boyce hat an Hand der Spektralverteilungen von Tageslicht zu verschiedenen Phasen des Tages und der der „Vollspektrumlampen“ demonstriert, dass die Lampen allenfalls eine mäßige Simulation des natürlichen Lichts darstellen. Dazu muss aber hinzugefügt werden, dass auch das „Tageslicht“ in Innenräumen weit davon entfernt ist, natürliches Licht zu sein.

Man muss überhaupt in Frage stellen, ob es Sinn macht, die im Freien vorhandene Sonnenstrahlung überhaupt als „Licht“ zu behandeln. Denn Licht ist definiert als die sichtbare Strahlung bewertet nach der Empfindlichkeitsfunktion des menschlichen Auges für das Tagessehen. Diese Funktion selbst ist in den 1920er Jahren auf fragwürdige Weise ermittelt worden und gilt, wenn überhaupt, für das Zentrum der Retina. Sie gilt nicht einmal für die Steuerung der Pupille, ohne die der Sehvorgang nicht erfolgen kann. Das Sonnenspektrum reicht sowohl im kurzwelligen Bereich (UV) als auch im langwelligen (IR) weit über den sichtbaren Bereich hinaus, wobei gerade die Bereiche, die nicht als Licht erfasst werden, lebenswichtig sind. Bereits das übliche Fensterglas reduziert diese Anteile erheblich. Bei der heute aus Gründen der Energieeffizienz empfohlenen Dreifachverglasung wird Infrarot abgeschnitten, und nicht nur der UV-Bereich völlig außen vor gelassen, sondern auch ein kleiner Teil vom Blau. D.h., auch das Tageslicht in Gebäuden unterscheidet sich in lebenswichtigen Punkten vom Tageslicht draußen, ohne dass dies thematisiert worden ist.

Da das Tageslicht am Arbeitsplatz trotz der o.g. Mängel nachweislich eine positive Wirkung entfaltet, dürfte man den Vollspektrumlampen die mäßige Güte der Simulation nicht vorwerfen.

Auch in anderer Hinsicht ist die Simulation der natürlichen Situation mit Hilfe von Vollspektrumlampen mäßig. Das betrifft die „Lichtmenge“, d.h. die Helligkeit im Raum. Diese wird gewöhnlich, mangels besserer Maße, an der Beleuchtungsstärke gemessen, und zwar gemessen auf einer horizontalen Ebene. Man nimmt diese Ebene, weil man annimmt, dass das Licht von oben einfällt und der Betrachter des beleuchteten Objekts von oben guckt. Die für die biologischen Wirkungen maßgebliche Lichtmenge ist die, die durch die Pupille ins Auge eindringt. Hierfür ist die Horizontalbeleuchtungsstärke ein denkbar schlechtes Maß. Hingegen fällt das Tageslicht in Arbeitsräumen unter einem günstigen Winkel ein, derart, dass bei gleicher Beleuchtungsstärke die ins Auge eindringende Lichtmenge zwei bis drei Mal höher ausfällt. Dies gilt übrigens für alle künstliche Beleuchtungen mit Ausnahme der sehr seltenen Anlagen, die mit wandmontierten Leuchten arbeiten.

Ein weiterer Faktor, bei dem Vollspektrumlampen das Tageslicht nicht gut simulieren können, ist die Veränderlichkeit. Insbesondere durch seine fortlaufende Veränderung in Menge und Qualität steuert das Tageslicht viele Körperfunktionen und trägt so der Gesundheit bei. Eine solche Wirkung kann bei künstlicher Beleuchtung nur künstlich herbei geführt werden. Ob man damit einen ähnlichen Effekt erzielen kann wie bei natürlichem Licht, ist nicht erwiesen. Es kann aber auch sein, dass man sogar eine bessere Wirkung erzielen kann, weil man künstliches Licht besser steuern kann. Derzeit gibt es viele Bemühungen, die Dynamik des Tageslichts mit künstlicher Beleuchtung nachzubilden, die von technischen Versuchen bis zu Forschungsprojekten reichen.

## Biologische Wirkungen

Wie man mittlerweile weiß, spielt das Spektrum des Lichts eine große Rolle bei den sog. nicht-visuellen Wirkungen. Diese wurden z.B. auf internationalen Kongressen zum Thema Licht und Gesundheit (s. CIE, 2004 und CIE 2006) thematisiert. Bei einem anderen internationalen Kongress im Jahre 2009 (Lux Europa 2009) waren Tageslicht, Farbe, Farbwiedergabe und Spektrum die am häufigsten benutzten Begriffe.

Da Vollspektrumlicht eine andere spektrale Zusammensetzung aufweist als sonstige Leuchtstofflampen und eine bessere Farbwiedergabe ermöglicht, ist zumindest aus theoretischer Sicht eine andere biologische Wirksamkeit anzunehmen.

Da die Studien zu biologischen Wirkungen des Lichts einen enormen Umfang weingenommen haben, sei an dieser Stelle nur ein Auszug bezüglich der Wirkung einer Eigenschaft, der Farbtemperatur, angeführt, die in der Normung der Beleuchtung von Arbeitsstätten allenfalls als eine Nebensächlichkeit behandelt wird. In der Literaturstudie von Yasukouchi and Ishibashi (2005) werden unter anderem folgende Ergebnisse von früheren Studien angeführt:

Die Literatur zeigt, dass die Spektralverteilung des Lichts offensichtlich physiologische Körperfunktionen über den nicht-visuellen Kanal beeinflusst. Die früheren Untersuchungen aus dem Labor der Autoren haben solche Effekte durch physiologische Messungen festgestellt.

Iwakiri et al (1997) haben mit drei Farbtemperaturen (3000K, 5000K und 7500K) experimentiert. Die Probanden waren 7 junge Männer. Das Tageslicht (7500K) hat im Vergleich zu warmweißem Licht die Wachheit gesteigert, die Leistung reduziert.

Yasukouchi and Ejima (1998) haben den Einfluss von Farbtemperaturen auf die Wachheit beim Lösen von Denkaufgaben studiert und u.a. festgestellt, dass der Haltungswechsel auch beeinflusst wurde.

Ishibashi et al. (1997) haben den kombinierten Einfluss von Raumtemperatur, Farbtemperatur und Lärm auf die Variabilität von Herzschlag untersucht. Die Studie hat den Einfluss der Farbtemperatur und dessen Interaktion mit den anderen Umweltparametern nachgewiesen.

Tsutsumi et al. (2002) haben den Einfluss von Farbtemperatur auf Pulsvariabilität und Blutdruck untersucht. Auch hier wurde festgestellt, dass die Farbtemperatur Blutdruck und Schlafqualität beeinflusst. Den größten Anstieg des Blutdrucks verursachte die Farbtemperatur von 6700K (Vergleich 3000K und 5000K).

Tottori et al. (2000) haben herausgefunden, dass die Abnahme der Körpertemperatur nach einem Bad in einem Ruheraum signifikant von der Farbtemperatur des Lichts beeinflusst wird.

Higashihara et al. (2002) haben die Daten aus diesem Experiment (Körpertemperatur und EEG) in der Schlafphase analysiert und herausgefunden, dass die Farbtemperatur auch diese beeinflusst.

(Literaturstellen in der Studie, eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Deutsch unter <http://lichtundgesundheit.de/Lichtundgesundheit/Yasukouchi.html>).

Auch die früher belächelte Theorie der Krebserzeugung in Zusammenhang mit Licht wird heute insofern angenommen, dass man so erhebliche Bezüge herstellen kann, dass heute viele Studien durchgeführt werden. Im Jahr 2007 hat die Weltgesundheitsorganisation Nacht- und Schichtarbeit als potenzielle Ursache von Krebs anerkannt (für mehr s. <http://www.reuters.com/article/pressRelease/idUS83251+30-Nov-2007+PRN20071130>). Licht in der Nacht (und nicht künstliches Licht als solches) wird als krebsauslösender Umweltfaktor behandelt (s. <http://jnci.oxfordjournals.org/cgi/content/full/93/20/1513>). Das bedeutet u.a., dass man die nächtliche Beleuchtung von Arbeitsstätten besonders unter die Lupe nehmen muss, bei der man nicht mehr dem ewigen Motto der Lichttechnik folgen darf, dass mehr Licht besser sei.

Die bis zum Jahr 1991 bekannt gewordenen Wirkungen dieser Art werden in einem Forschungsbericht des US-Kongresses behandelt und diskutiert (Herdmann et al 1991). Weitere Quellen sind CIE 2001, CIE 2004 und CIE 2006. Eine gemeinsame Betrachtung aller relevanten Dokumente aus diesen Quellen und aus weiteren ergibt eine Fülle von Einflüssen der Farbe, des Spektrums und der spektralen Zusammensetzung des Lichts, sodass man sich eigentlich wundern müsste, warum gerade Vollspektrumlicht nicht Gegenstand von noch viel mehr Studien geworden ist.

### Wirkungen des UV-Anteils

Die Befürworter der Vollspektrumlampe weisen darauf hin, dass in Innenräumen die lebenswichtige UV-Strahlung fehle. Dieses Argument ist zweifellos stichhaltig. Nach wissenschaftlichen Erkenntnissen in der Photochemie nimmt man an, dass das Leben auf der Erde durch chemische Prozesse begonnen haben muss, die durch die UV-Strahlung in Gang gesetzt worden sind. Lebenswichtige Wirkungen der UV-Strahlung für den Menschen wie die Anregung der Vitamin D-Produktion sind seit langem bekannt.

Die Schwachstelle der Argumentation liegt allerdings bei der Frage der Intensität. Die lebenswichtige UV-Strahlung kann bei Überschreitung gewisser Grenzen der Bestrahlung auch eine tödliche Gefahr bedeuten. Auch dies weiß man nicht zuletzt aus der Photobiologie, nach deren Erkenntnissen das Leben zwar unter UV-Einwirkung begonnen haben muss, jedoch sofort vernichtet worden wäre, wenn sich die ersten Lebenskeime nicht hätten in größere Wassertiefen bewegen können, die Schutz vor UV-Strahlung boten. „Die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift sei“, sagte vor etwa fünfhundert Jahren Paracelsus. Das gleiche gilt auch für die UV-Strahlung, die sowohl Hautleiden verursachen als auch kurieren helfen kann.

Die Frage der Intensität dürfte den Schlüssel für weitere Betrachtungen liefern. In Innenräumen fehlt tatsächlich die UV-Strahlung aus natürlichen Quellen fast völlig. Hinter einer dreifachen Wärmeschutzverglasung ist der UV-Anteil im Tageslicht kaum noch nachweisbar. Will man diesen im Rauminnern künstlich herstellen, stellt sich die Frage, auf welchem Wege die Strahlung den Körper erreichen soll. Da künstliches Licht vorwiegend von oben einfällt, schattet der Kopf den größten Teil des Körpers ab, und dieser ist bei der Arbeit fast gänzlich verhüllt. Man müsste also, um die natürliche Dosis zu realisieren, zu recht hohen Bestrahlungsstärken greifen.

Nicht nur diese Umstände lassen es zweifelhaft erscheinen, dass die im Innenraum erzeugte UV-Strahlung einen Nutzen bringt. Ein weiterer, vielleicht gewichtiger Grund kann darin liegen, dass die Wirkung von einer Strahlung mit einem bestimmten Spektrum nicht von ihr bzw. ihrer Dosis abhängt, sondern wesentlich davon, welcher zusätzlichen Strahlung die betreffende Körperstelle ausgesetzt wird. D.h., eine UV-Exposition, die unter Tageslicht als ungefährlich eingestuft wird, kann unter einem anderen Licht eine andere Wirkung entfalten.

Neben dieser theoretischen Bedenken muss man noch berücksichtigen, dass es ethische Bedenken dagegen gibt, dass man Menschen kollektiv einer Strahlung aussetzt, die u.U. eine Gefahr bedeuten kann. Zwar liegen die von Vollspektrumlampen erreichbaren Bestrahlungsstärken weit unter den zulässigen Dosen, man ist aber aufgrund früherer Umgangsweisen mit Strahlung heute eher übervorsichtig.

## Verbesserung der Sehleistung

Vollspektrumlampen sollen eine bessere Sehleistung ermöglichen, indem sie einen höheren Anteil an kurzwelligem Licht emittieren. Die behauptete Wirkung wird zum einen darauf zurück geführt, dass auch bei hell adaptiertem Auge (Beleuchtungsniveau in Innenräumen) die Stäbchen (maximale Empfindlichkeit bei 508 nm) zur Hellempfindung beitragen und nicht nur die Zapfen, deren maximale Empfindlichkeit im gelb-grünen Bereich liegt. Zum anderen aber wird behauptet, dass der Pupillendurchmesser durch einen höheren Anteil an kurzwelligem Licht kleiner würde und daher die Tiefenschärfe des Auges größer.

Beide Behauptungen werden durch mehrere Veröffentlichungen zumindest unterstützt (z.B. Berman, Fein, Jewett and Ashford 1994). Eine Diskussion der festgestellten Effekte findet sich in Veitch und McColl, 2001. Es existieren aber auch Veröffentlichungen, aus denen hervorgeht, dass die behaupteten Effekte nicht einträten. Ihnen ist häufig gemein, dass die Ergebnisse mit Leseversuchen ermittelt worden sind. Leseversuche, die mit alphabetischen Zeichen durchgeführt worden sind, sind aber nicht trennscharf, d.h., tatsächlich vorhandene Unterschiede von Testobjekten (in diesem Fall Lampentypen) werden nicht immer festgestellt. Daher gehen die methodischen Fehler der Untersuchung zu Lasten des Probanden, in diesem Fall der Lampe. Wie schlimm sich dieser Fehler auswirken kann, lässt sich anhand der Typographie darstellen. Die uns bekannten Schriften sind z.T. sehr gut lesbar, während andere eher der Schönheit wegen eingesetzt werden. Obwohl sehr viele Menschen eine Unterscheidung zwischen gut und schlecht lesbaren Schriften mit dem bloßen Auge zuverlässig treffen können, muss der Unterschied bei Lesetests sehr groß sein, damit ein Unterschied ermittelt werden kann.

Es ist möglich, dass bei Untersuchungen ein möglicher positiver Effekt von Vollspektrumlampen kleiner erscheint als tatsächlich vorhanden, weil diese Lampen eher farblich flimmern als andere,

wenn sie mit üblichen Vorschaltgeräten betrieben werden. Da das Flimmern die Sehleistung herabsetzt, wird die Wirkung bei einem Versuch unterschätzt. Heute gibt es aber keinen vernünftigen Grund mehr, Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten zu betreiben.

## Sehkomfort

Ob die Beleuchtung mit Vollspektrumlampen den Sehkomfort erhöht bzw. den sog. „discomfort“ mindert, ist umstritten. Das ist nicht verwunderlich, weil jeder Autor mangels eindeutiger Definition irgend etwas anderes als Sehkomfort untersucht hat, und zumal die lichttechnische Industrie dem Sehkomfort nicht mehr Bedeutung beigemessen hat als einer Couch im Büro: „Das (gemeint sind Maßnahmen, die den Sehkomfort erhöhen und die Akzeptanz verbessern würden) kann ohne Frage Komfort und Akzeptanz der Beleuchtung erhöhen – ebenso wie dies eine Couch im Büro oder eine besonders komfortable Sitzgruppe tun würden.“ (aus der Broschüre Lichtforum 28 der Fördergemeinschaft Gutes Licht). Auch im CIE Technical Report „The Influence of Daylight and Artificial Light on Diurnal and Seasonal Variations in Humans. A Bibliography“ sucht man vergebens nach dem Begriff Sehkomfort, obwohl dieser Bericht ein verwandtes Thema behandelt. Das CIE Wörterbuch kennt ihn auch nicht.

Die Tatsache, dass die Wirkung von Vollspektrumlicht auf den Sehkomfort umstritten ist, darf aus den genannten Gründen nicht gegen sie bewertet werden. Deswegen werden die Befunde in der Literatur hier nicht diskutiert.

## Wahrnehmung und Leistungsfähigkeit

Die Vollspektrumlampen mit ihrem relativ hohen Farbwiedergabeindex führen zu nachweisbaren Verbesserungen des Farberkennens. Es gibt aber auch andere Leuchtstofflampen, die eine gute Farbwiedergabe gewährleisten können.

Die Empfindung, dass Räume heller bzw. größer sind, kann durch diese Lampen unterstützt werden. Dies wurde durch eine Untersuchung in jüngster Zeit wieder bestätigt (Vandahl et al, 2009). Die Autoren haben herausgefunden, dass man bei einer ähnlichsten Farbtemperatur von 2700 K höhere Beleuchtungsstärken braucht um den gleichen Helligkeitseindruck zu bekommen wie unter 6500 K.

Die Lernleistung von Schulkindern, häufig herangezogen, um Wirkungen der Beleuchtung zu ermitteln, scheint keine besondere Steigerung durch Vollspektrumlicht zu erfahren. Dies gilt vermutlich nur für Versuche, die man lediglich aus versuchstechnischen Gründen in Räumen ohne Tageslicht durchführt, bei denen man festgestellt hat, dass die Beleuchtung von Schulräumen keinen Einfluss auf die Lernleistung habe. Bei methodisch einwandfrei durchgeführten Untersuchungen, die allerdings in Schulen mit Fenstern und Oberlichtern stattfanden, konnte man einwandfrei einen signifikanten Einfluss der Beleuchtung auf den Lernerfolg von Schülern nachweisen (s. Daylighting in Schools, 2001). Zwei der möglichen Ursachen für die festgestellten positiven Wirkungen, bessere Farbwiedergabe und bessere Stimmung der Benutzer aufgrund der Lichtqualität, treffen auch für eine künstliche Beleuchtung mit Vollspektrumlampen zu.

Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit von Erwachsenen sind laut Veitch und McColl keine Unterschiede zwischen Räumen mit unterschiedlicher Beleuchtung gefunden worden. Diesem Befund würden aus heutiger Sicht viele Personen und Stellen heftig widersprechen. Gerade die Studien zu den nicht-visuellen Wirkungen der Beleuchtung gehen davon aus, dass ein solcher Einfluss sogar groß ausfallen müsste.

Für die Aussage von Veitch und McColl gibt es einige plausible Erklärungen. Zum einen waren viele Studien, wie die Autorinnen selber als Kritik anführen, methodisch schwach bis unhaltbar. Wer menschliche Leistung, Leistungsfähigkeit oder Leistungsbereitschaft misst, und dabei zuverlässige Ergebnisse erhalten will, muss einen gewaltigen Aufwand treiben. Wer dies gar in der Praxis betreiben möchte, wird nicht selten Opfer eines Phänomens, den Forscher mit ähnlichen Ansätzen bereits in den 1920er Jahren erlebt haben, des Hawthorne-Effekts. Dieser Effekt wurde

bei einem Versuch festgestellt, bei dem man durch besseres Licht die Arbeitsleistung erhöhen wollte. Die Leistung erhöhte sich aber auch dort, wo man nur vorgegeben hatte, die Beleuchtung verbessert zu haben. Man weiß seitdem, dass es nicht einfach ist, menschliche Leistung zu erfassen.

Ein weiterer Grund für die (scheinbare?) Wirkungslosigkeit unterschiedlicher Beleuchtungen, wie sie von Veitch und McColl dargestellt werden, liegt in der Durchführung der Versuche selbst. Während man heute die nicht-visuelle Wirkungen der Beleuchtung als die wichtigere Einflussgröße hält, und sich daher mit circadianen Rhythmen befasst, hat man bei früheren Versuchen entweder diesen Effekt überhaupt nicht berücksichtigt, oder gar schwere versuchstechnische Fehler begangen, indem man die Nachtsituation bei Tage mit abgedunkelten Räumen hergestellt zu haben glaubte.

Aus heutiger Sicht würde man in der Frage der Leistungsfähigkeit und ihrer Beeinflussung durch Licht und Beleuchtung anders reagieren als im Jahre 2001.

## Schlussfolgerungen

Die behaupteten Wirkungen von Vollspektrumlicht konnten häufig nicht nachgewiesen werden. Die von Veitch und McColl geprüften Studien wiesen allerdings viele methodische Mängel auf, so dass man nicht den Schluss ziehen darf, dass die Wirkungen nicht vorhanden seien. Vielfach waren die Studien nicht geeignet, um bestimmte Effekte nachzuweisen.

Wer mit wissenschaftlichen Methoden nicht vertraut ist, wird ungern glauben, dass man solche triviale Dinge wie Ermüdung oder Lesbarkeit von Text nicht experimentell ermitteln kann, wo doch jeder Mensch weiß, was sie bedeuten. Es ist aber leider so. Um Sachverhalte wie die mentale Leistungsfähigkeit eines Erwachsenen oder den Lernerfolg von Schülern messbar zu machen, benötigt man sehr viel Aufwand. Für die oben zitierte Untersuchung „Daylighting in Schools“ mussten beispielsweise 50.000 Datensätze aus 102 Schulen erfasst, geprüft und ausgewertet werden. Wenn man z.B. aus wirtschaftlichen Gründen mit kleineren Stichproben arbeiten muss, wird man sehr häufig keine Unterschiede zwischen den erprobten Situationen (z.B. Beleuchtung mit verschiedenen Arten von Leuchtstofflampen) finden können, auch wenn sie vorhanden sind.

Das Vollspektrumlicht als Zankapfel zwischen Menschen, die an seine Wirkungen glauben, und anderen, die wissenschaftlich nachweisen wollen, ob und ggf. welche Wirkungen durch Lampen mit entsprechenden Eigenschaften bzw. durch Beleuchtung mit solchen Lampen erzeugt werden, wird uns noch geraume Zeit erhalten bleiben. Eine durchschlagende Wirkung hat die Vollspektrumlampe aber dennoch erzielt: Seit den ersten Erkenntnissen, die John Ott berichtet hatte, wird zunehmend stärker über die gesundheitlichen Wirkungen von Licht und Beleuchtung geforscht und gesprochen. Die medizinische Forschung hat hierbei u.a. das Licht bzw. eher den Mangel an Licht als die Ursache der seit mehr als 2.000 Jahren bekannten Winterdepression entlarvt.

Die möglichen Wirkungen von Vollspektrumlicht werden heute positiver gesehen als im Jahre 2001, als Veitch und McCall ihre Bewertung der Literatur veröffentlicht haben.

## Weiterführende Literatur und Links zum Thema

Dieser Beitrag enthält Bezüge zu folgenden Dokumenten, die über CyberLux abgerufen werden können. In diesen sind wiederum zahlreiche Literaturstellen angeführt, die sich für weiteres Studium eignen. Die markierten Quellen können direkt aufgerufen werden.

**G. Cakir:** Daylighting in Schools – Zusammenfassender Bericht über eine amerikanische Feldstudie, ERGONOMIC Institut, 2001

**A.Cakir, G. Cakir**: Tageslicht und Ergonomie, ERGONOMIC Institut, 2001

**Boyce, P.A.**: Is Full-Spectrum Lighting Special?, IRC Internal Report No. 659, S. 30 ff., 1994

CIE PROCEEDINGS of the CIE Symposium '04 Light and Health: non-visual effects, INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, Vienna, 2004

CIE PROCEEDINGS of the 2nd CIE Expert Symposium on Lighting and Health, INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, Ottawa, 2006

**Fisch, J.**: Licht und Gesundheit - Das Leben mit optischer Strahlung, Technische Universität Ilmenau Fachgebiet Lichttechnik, März 2000

**Gifford, R.**: Scientific Evidence for Claims about Full-Spectrum Lamps: Past and Future, IRC Internal Report No. 659, S. 37 ff, 1994

**Karpen, D.**: Full-Spectrum Polarized Lighting: An Option for Light Therapy Boxes, IRC Internal Report No. 659, S. 6 ff, 1994

Lux Europa 2009 Lighting and the Environment, 11th European Lighting Conference, Proceedings, Turkish National Committee on Illumination, 2009

**Veitch, J. A.; McColl, S. L.**: A Critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting, Ergonomics, v. 44, no. 3, Feb. 2001, pp. 255-279

**Veitch, J.A.**: Introduction: Full-Spectrum Lighting Effects on Performance, Mood, and Health, IRC Internal Report No. 659, S. 4 ff., 1994

**Anonymus**: Panel Discussion from the Symposium "Full-Spectrum Fluorescent Lighting Effects on Performance, Mood, and Health", IRC Internal Report No. 659, S. 47 ff., 1994

**Veitch, J.A.**: Conclusion: Is Full-Spectrum Light the Quality Choice?, IRC Internal Report No. 659, S. 112 ff., 1994

Folgender Bericht kann über die LiTG bzw. CIE beschafft werden. Er ist nicht über das Internet verfügbar:

CIE 2001 THE INFLUENCE OF DAYLIGHT AND ARTIFICIAL LIGHT ON DIURNAL AND SEASONAL VARIATIONS IN HUMANS. A BIBLIOGRAPHY  
ISBN 3 901 906 04 5, CIE 139 - 2001

## ***Literatur***

<http://www.cwaller.de>, [http://www.cwaller.de/fr\\_didaktik.htm](http://www.cwaller.de/fr_didaktik.htm), 15. Februar 2010

<http://international.mmm.com>, 21.3.2001

**Berman, S. M., Fein, G., Jewett, D. L., & Ashford, F.** (1993): Luminance-controlled pupil size affects Landolt C task performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 22 , 150-165.

Fleischer, S.: Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen, Diss., 2001

Hartmann, E.; Müller-Limmroth, W., Stellungnahme zur Verträglichkeit des Leuchtstofflampenlichtes (Gutachten), LiTG, Berlin, 1981

**Herdman, R.C. et al**: Biological Rhythms: Implications for the Worker, Projektbericht OTA-BA-463, U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Washington, DC (ISBN 0-16-035497-8) ( ( deutsche Zusammenfassung verfügbar unter: <http://lichtundgesundheit.de/Lichtundgesundheit/Morita.html>, 21. Februar, 2010

**MAAS, J. B., JAYSON, J. K. and KLEIBER, D. A.**, 1974, Effects of spectral differences in illumination on fatigue, *Journal of Applied Psychology*, 59, 524-526.

Rosenthal, N. E. & Blehar, M. C. (Eds.). (1989). *Seasonal affective disorders and phototherapy*. New York: Guildford Press.

**Morita, T.; Tokura, H.**: Effects of Lights of Different Color Temperature on the Nocturnal Changes in Core Temperature and Melatonin in Humans, *Appl Human Sci*, 15(5): 243-246, 1996 ( deutsche Zusammenfassung verfügbar unter: <http://lichtundgesundheit.de/Lichtundgesundheit/Morita.html>, 21. Februar, 2010

Vandahl, C.; Gudd, N.; Schierz, C.: Subjective assessment of brightness depending on colour temperature, *Proceedings Lux Europa 2009, Lighting and the Environment*, 11th European Lighting Conference, Turkish National Committee on Illumination, 2009

**Yasukouchi, A.; Ishibashi, K.**: Non-visual Effects of the Color Temperature of Fluorescent Lamps on Physiological Aspects in Humans, *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 2005, 24; 41:43