

Licht als Stressor oder Stimulans Psychophysiologische Wirkungen der Beleuchtung auf den arbeitenden Menschen

Ahmet Çakir

ERGONOMIC Institut für Arbeits- und Sozialforschung
Soldauer Platz 3, 14055 Berlin
ahmet.cakir@ergonomic.de

1 Über Lichtwirkungen

“Beleuchtung” ist eine zweckgerichtete Anwendung von Licht, deren primäres Ziel in der Arbeitswelt die Unterstützung des Sehens von Arbeitsobjekten gewesen ist. Sie diente einst dazu, die erforderliche Sehleistung zu ermöglichen. In der Architektur wurde die Beleuchtung zwar auch zweckgerichtet angewendet, jedoch mit einem anderen Hauptziel, dem Ziel, den Raum erlebbar zu machen. In beiden Anwendungsfällen schreibt man dem Licht positive Wirkungen zu, wenn es der Zielsetzung genügt. Diverse Nebenwirkungen wie Blendung oder Wärmeentwicklung werden als unerwünscht erachtet, man begegnet ihnen mit geeigneten Methoden.

Ursprünglich war die Raumwirkung der Beleuchtung in Arbeitsstätten eine Art Nebenwirkung oder Abfallprodukt, man war ja glücklich, überhaupt etwas Licht zum Sehen erzeugen zu können. Dies änderte sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit der preiswert gewordenen Lichterzeugung durch Leuchtstofflampen. Man konnte nunmehr die Unterstützung von Sehaufgaben mehr oder weniger erfolgreich mit raumgestalterischen Aspekten verbinden.

Die gesundheitlichen Aspekte, die mit Licht - und damit mit Beleuchtung - verbunden sind, waren zwar nicht unbekannt, wurden aber in der Beleuchtungstechnik unter ferner liefen behandelt. Warum sollte man sich damit beschäftigen, sie wurden ja in Disziplinen wie Fotobiologie, Medizin oder Heliotherapie hinreichend behandelt. Die Verantwortlichen im Betrieb haben Benutzerprobleme nicht selten als Ausdruck von Querulantenentum angesehen, da sie nach Norm verfahren hatten. Diese Norm hatte sich in ihrer ersten Fassung vom Jahre 1935 (!) die Förderung der Gesundheit durch gutes Licht zum Ziel gesetzt: *“Die künstliche Beleuchtung von Innenräumen muß den Forderungen der Gesundheit und Schönheit entsprechen, dabei zweckmäßig und wirtschaftlich sein.”* Soll man etwa 65 Jahre danach Zweifel am Erfolg anmelden, wo doch der jüngste Entwurf einer europäischen Beleuchtungsnorm für Arbeitsstätten aussagt, wer diese erfüllt, habe auch der Sicherheit gedient und gar Genüge getan? Scheint Licht nicht das geringste Problem in der Arbeitswelt zu sein, was man z.B. davon ableiten kann, dass auf dem Kongress des IEA, International Ergonomic Association, im Jahre 1997 zwar über 1700 Vorträge gehalten wurden, aber kein einziger zu Licht oder Beleuchtung!

Es gab aber auch Mahner: Das “gute” Licht in Arbeitsstätten wurde von Psychologen oft als “Stressfaktor” bezeichnet und in Arbeitsumgebungen nicht selten auch als solcher identifiziert. Insbesondere der Augenmediziner Hollwich hatte seit den 60er Jahren die Leuchtstofflampe als gesundheitsschädigend angeprangert und beim Deutschen Bundestag sogar deren Verbot beantragt. Sie ist zwar nicht verboten worden, aber die Theorie, auf der Hollwich seine Argumente aufgebaut hatte, ist in der Zwischenzeit akzeptiert worden.

Es stellt sich die Frage: Kann ein Umweltfaktor wie Licht gleichzeitig sowohl positive als auch negative Wirkungen auf Wohlbefinden, Sicherheit und Gesundheit entfalten?

2 Methodische Probleme

2.1 Probleme der Zielfindung

Bei einer Beschäftigung mit dem Themenkomplex "Licht und Gesundheit" kommt man nicht umhin, dass man die Zielrichtung bestimmt, in der geforscht werden soll. Dies beginnt bereits bei der Begriffsbestimmung.

Jede Wissenschaft, wie auch jede weitgehend in sich geschlossene Gruppe von Menschen, entwickelt eine bestimmte Gedankenwelt, die sich eigene Begriffswelt schafft, die bestenfalls nur in dieser Umgebung in gleicher Weise verstanden werden. Brechen die Begriffe aus dem virtuell abgesteckten Bereich aus oder brechen Fremde in eine isolierte "schöne" Gedankenwelt hinein, entstehen stets Konflikte, die zwar ausgetragen werden, jedoch selten zu einem befriedigenden Abschluss zu bringen sind. Das beste Beispiel hierzu bietet die Welt des Juristen, in der Begriffe existieren, die nur dem Juristen zugänglich sind, aber häufig zu allem Überdross auch noch aus dem allgemeinen Sprachschatz stammen. Der große Rest der Menschheit bekommt gelegentlich Kontakt mit dieser Welt, wobei es manchmal darum geht, dass man seine Freiheit zeitweilig oder ganz verlieren kann, von sonstigen existenzbedrohenden Möglichkeiten ganz zu schweigen. Nicht selten hängt Glück oder Unglück in diesbezüglichen Fällen davon ab, dass ein relevanter Begriff aus der Welt, in der man sich zeitweilig aufhält, einem tatsächlich ein Begriff ist.

Die Beleuchtungstechnik wie die Arbeitswissenschaften befinden sich nicht in der glücklichen Lage, dass ihre Begriffe so ernst genommen werden wie die der Juristen. Dennoch müssen sie sich mit Wörtern aus dem allgemeinen Sprachschatz verständlich machen. So ist z.B. der Begriff "Stimulans" im üblichen Sprachgebrauch positiv belegt und "Stressor" negativ. In diesem Beitrag werden diese Begriffe in diesem Sinne verwendet. Aus wissenschaftlicher Sicht liegen die beiden Begriffe hingegen nicht allzu weit auseinander: Ein "Stressor" ist nichts anderes als ein Risikofaktor, der die Wahrscheinlichkeit erhöht, "Stress" zu erleben, und "Stimulans" bedeutet soviel wie Anregung, die sowohl positive wie negative Auswirkungen entfalten kann. Konfusion entsteht erst dadurch, dass die Sozialwissenschaften unter Stress meist negative Wirkungen verstehen.

Noch komplexer wird die Sache im praktischen Fall, denkt man z.B. an die Beleuchtung von Umgebungen wie Verkaufsräume, die für den Arbeitnehmer eine Arbeitsumgebung darstellen, für den Kunden (hoffentlich) eine Erlebniswelt und für den Unternehmer eine Inszenierung. Um dem Kunden die Produkte näher zu bringen, muss man viele Glanzpunkte setzen, die ihn stimulieren sollen, den Arbeitnehmer hingegen aber mit großer Wahrscheinlichkeit stören, wenn er die Daten des Verkaufsobjekts auf seinem Bildschirm lesen will.

Während die Ambiguität der Rolle der Beleuchtung, die in diesem Beispiel deutlich erkennbar ist, beherrschbar bleibt - man kann ja die Vitrinen anstrahlen und gleichzeitig die Kasse mit mildem Licht versehen -, wird man stets mit Verständnisproblemen rechnen müssen, wenn z.B. ein- und dieselbe Leuchtdichte eines Bildschirms mal als positiv mal als negativ angesehen werden muss, je nach Umgebung, was aus theoretischer Sicht vollkommen korrekt ist: So erfasst die Arbeitswissenschaft alle Faktoren, die den Menschen beeinflussen können, unter dem neutralen Begriff "Belastung". Erst wenn eine Belastung eine negative Wirkung ausübt, wird sie als "Beanspruchung" bezeichnet und entspricht somit dem in den Sozialwissenschaften üblichen Stressbegriff.

Unsere Fähigkeiten im Verstehen von Sachverhalten versagen dann weitgehend, wenn die Ursache von positiven oder negativen Wirkungen im zeitlichen Ablauf von physikalisch messbaren Größen liegt. Gerade damit beschäftigt sich die Beleuchtungstechnik derzeit inten-

siv ("dynamisches Licht"). Die Erfolgsaussichten, die Konzepte schnell verständlich zu machen, sind nicht gerade günstig, da wir bislang mit dem Verstehen dynamischer Vorgänge eher gescheitert sind als mit dem statischer Vorgänge. Selbst Abhandlungen über Handlungen, die fast jeder kennt und beherrscht, wie z.B. Gehen oder Radfahren, bleiben einer leicht verständlichen Beschreibung verschlossen. D.h., bevor man mit Hilfe von dynamischem Licht die Beleuchtungssituation verbessern will, müsste man Klarheit darüber schaffen, ob dieser Effekt Stimulanz in positivem Sinne oder Stress im negativen darstellt.

2.2 Bedarf für ein Modell für "Licht und Gesundheit"

Eine Beschreibung der Auswirkungen von Licht auf die Gesundheit des arbeitenden Menschen setzt voraus, dass man eine modellhafte Vorstellung von den Wirkungsmechanismen entwickelt. Ansonsten wären unerwünschte Folgen unvermeidlich, wie man an anderen Beispielen aus jüngster Zeit sehen kann: Dort, wo man kein Modell entwickelt hat, z.B. in der Wirkung von niederfrequenten Magnetfeldern, sind Erscheinungen zu verzeichnen, die nachdenklich stimmen sollten. So wurden z.B. heiße Diskussionen um die Magnetfelder von Bildschirmgeräten geführt, mit dem Ergebnis, dass diese erheblich reduziert wurden, damit die vermeintliche oder tatsächliche "Strahlungsgefahr" so weit wie möglich vermieden wurde. Menschen, die in diesem Sinne "sichere" Geräte an ihrem Arbeitsplatz verlangen, ficht es aber nicht an, dass die Stromleitungen in ihrer Umgebung Magnetfelder erzeugen, deren Stärke die der Bildschirme um mehrere Größenordnungen übertreffen kann. Nicht selten fallen seit Jahrzehnten existierenden Magnetfelder in Bürohäusern erst dann auf, wenn die teuer auf "Strahlung" geprüften Geräte nach der Installation ein zittriges Bild zeigen.

Das oben beschriebene fragwürdige Vorgehen lässt sich in der Beleuchtungstechnik aus mehreren Gründen nicht wiederholen. Es setzt z.B. voraus, dass man beim Fehlen eines Kausalmodells den in Verdacht stehenden Stressor so weit wie möglich vermeidet (ALARA-Prinzip, *as low as reasonably achievable*). Was könnte aber in der Beleuchtungstechnik auf Verdacht vermieden werden?

Die Modellbildung wird unter anderem deswegen nicht leicht fallen, weil praktisch alle wichtigen Größen in der Lichttechnik (strahlungs-)physikalische Größen sind, die zwar eindeutig in lichttechnische Größen umgerechnet werden können, jedoch nicht mehr in physikalische Größen rückgerechnet, d.h. die Beziehungen sind nicht eineindeutig. Dies ist kein rein theoretisches Problem, was man daran erkennt, dass eine der am häufigsten publizierten Kurven aus der Lichttechnik, die Beziehung zwischen Beleuchtungsstärke und Ermüdung, bei 1.000 lx ein scheinbares Optimum zeigt, das durch die Verwendung von Glühlampen bei dem damaligen Experiment entstanden ist. Eine grundsätzliche Aussage der Beleuchtungstechnik beruht somit darauf, dass man die falsche Größe gemessen hat. (Im übrigen wurde nicht Ermüdung gemessen, sondern Fehlerhäufigkeit. Wie man Ermüdung messen soll, weiß man auch heute noch nicht.)

Ein weiteres Problem, das diskutiert werden muss, ist das Ziel, das mit dem Modell verbunden werden soll. Denn Licht bzw. Strahlung können sich auf den Menschen sowohl positiv als auch negativ auswirken, wobei eine Einteilung in "gut" und "böse" häufig nicht möglich sein wird (s. obige Diskussion zu Stimulans und Stressor). Dies ist im wissenschaftlichen Bereich nichts Neues, man kennt ja schon lange den Spruch "Gift ist nicht die Substanz, sondern die Dosis" und selbst Laien wissen, dass man Menschen mit *Giften heilen* und mit *Heilmitteln vergiften* kann. Das praktische Problem für die Arbeitswelt ergibt sich aus der Tatsache, dass man nicht ohne Weiteres Stressoren in eine Arbeitsumgebung einbringen darf, auch wenn diese im Privatleben ohne Diskussion akzeptiert werden. So wird heute beispielsweise propagiert, dass die künstliche Beleuchtung in Arbeitsräumen den gleichen Anteil an UV-Strahlung aufweisen soll wie das natürliche Licht, weil man ansonsten gesundheitliche Schäden befürchten müsste.

Angesichts der Lebensweise der Menschen in den Industriestaaten, die etwa 90% ihrer Zeit in geschlossenen Räumen verbringen oder zuweilen wochenlang keinen Sonnenstrahl sehen (Schichtarbeiter im Winter), ist die Idee nicht abwegig. Ob man sie umsetzen darf, ist weniger eine technische Frage, sondern eher eine ethische und rechtliche.

2.3 Parallelen zum Begriff "Information"

Eine Ambiguität ähnlich der von Stimulans und Stressor herrscht grundsätzlich auch beim Begriff "Information", etwas was viele Menschen für das Fünfte Element halten, und somit so lebenswichtig wie Luft und Wasser. Jede Information, die man erhält, bedeutet im Prinzip eine Störung eines stabilen Zustandes. Ob diese Störung ignoriert oder positiv bzw. negativ aufgenommen wird, hängt in entscheidendem Maße von dem Empfänger ab und somit weniger stark von ihren eigenen Eigenschaften. Bestes Beispiel hierfür ist die Behauptung vieler, unter einer Informationslawine begraben zu sein und doch nicht ausreichend informiert: Man bekommt jede Menge interessante Dinge, aber nicht das, was einen gerade interessiert.

Analoges gilt für das Licht: Man braucht es an seinem Arbeitsplatz eigentlich nur an einer einzigen Stelle, nämlich dort, wo man gerade etwas sehen möchte. Man beleuchtet aber die ganze Umgebung aus, um nicht ständig das Licht der Blickrichtung nachführen zu müssen. Das zu dem jeweiligen Zeitpunkt nicht benötigte Licht stellt dabei häufig eine Belastung dar (Umfeldblendung), die ebenso wenig gänzlich vermeidbar ist und zu einer Beanspruchung führen kann wie die Informationslawine. Jedoch kann, wie die überaus große Akzeptanz von Arbeitsplatzleuchten und überhaupt von individualisierbarem Licht zeigt, der sparsame Umgang mit Licht in der Beleuchtungstechnik Vieles von seiner Eigenschaft als "Stressor" nehmen und es in Stimulans umwandeln.

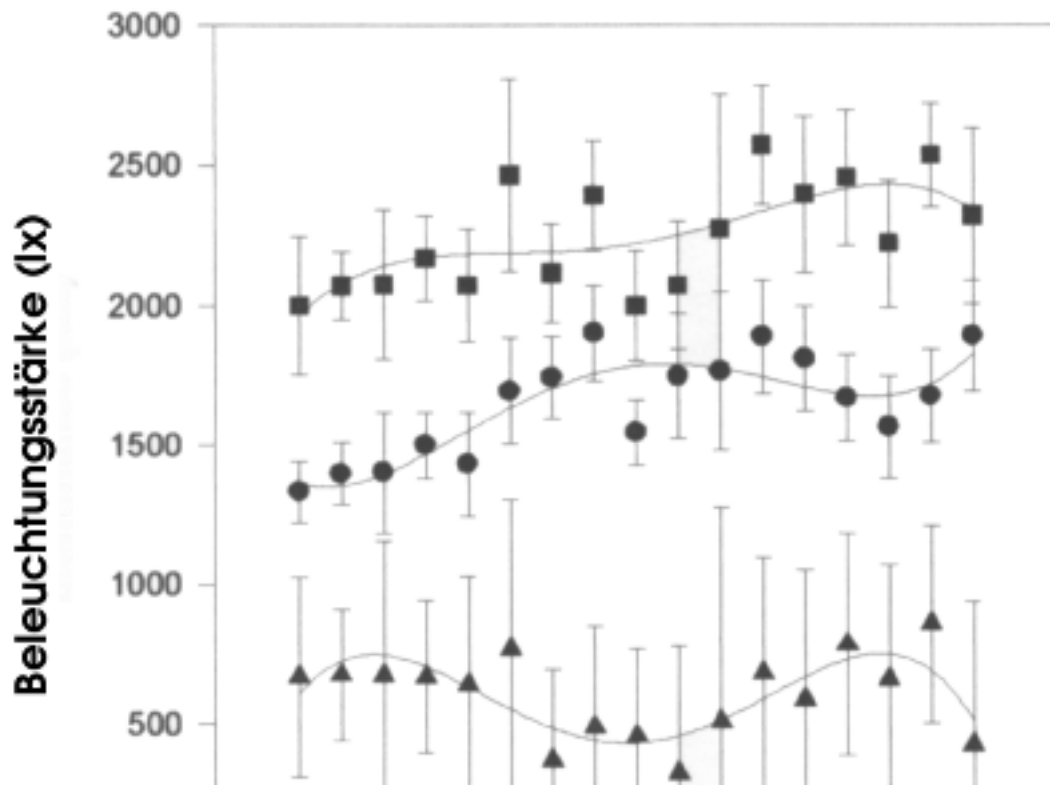
Es wird in den nächsten Jahren zu diskutieren sein, welche Wirkungsmechanismen dahinter stehen, dass das dem persönlichen Wunsch entsprechende Beleuchtungssystem die beste Akzeptanz genießt und die geringsten "gesundheitlichen Belastungen" hervorruft. Nur mit der Erfüllung individueller Wünsche lässt sich der Effekt nicht erklären, letztlich gibt es viele Dinge, die wir uns gewünscht haben, die aber kurze Zeit nach Erfüllung des Wunsches völlig uninteressant geworden sind.

3 Zu gesundheitlichen Auswirkungen von Licht und Beleuchtung

3.1 Zur Lichtquantität

Dass Licht unser ganzes Wesen als Mensch beeinflusst, d.h. sowohl Körperfunktionen als auch die Psyche, ist seit langem bekannt. Jeder Mensch erlebt Licht am eigenen Leibe, allerdings i.a. mehr unbewußt als bewußt. Auf welche Art und in welchem Maße Beleuchtung, d.h. die zielgerichtete Anwendung von Licht, den Menschen beeinflusst, ist indes noch wenig bekannt. Auch eine für viele Menschen als sicher geltende Behauptung, dass das künstliche Licht in Arbeitsumgebungen eine Gesundheitsgefahr an sich darstellt, muss geprüft werden. So geht die Benutzung der künstlichen Beleuchtung während des Tages in den meisten Arbeitsumgebungen mit einem Mangel an natürlichem Licht, genauer gesagt, natürlicher Strahlung einher. Da die künstliche Beleuchtung, so überdimensioniert die Beleuchtungsanlage vielen Benutzern auch erscheinen mag, selten die Quantität an Licht erzeugt, die aus der natürlichen Quelle stammt (s. Bild 1), kann man berechtigterweise von einem Lichtmangel sprechen. Und Lichtmangel selbst kann die gesuchte Ursache sein.

Eine Untersuchung aus einer Umgebung, die man gewöhnlich mit Sonnenschein assoziiert, aus dem Süden von Kalifornien, hat gezeigt, dass heutige Menschen nur weniger als eine Stunde am Tag Beleuchtungsstärken über 10.000 lx ausgesetzt sind (Boyce, 1998). Sollte dies für



große Bevölkerungsteile stimmen, kann die eigentliche Ursache der scheinbar von der künstlichen Beleuchtung verursachten Probleme im Fehlen der natürlichen Beleuchtung bzw. Strahlung liegen, da in natürlichen Umgebungen, in denen die Menschheit entstanden ist, die Beleuchtungsstärke Maximalwerte um 120.000 lx aufweist, mit einer Exposition zu Beleuchtungsstärken zwischen 5.000 und 100.000 lx von etwa 12 Stunden täglich. Das bedeutet, dass der Mensch bei der Arbeit und in der Freizeit nur einen Bruchteil derjenigen Strahlungsmenge erhält, die bei natürlichen Lebensweisen auf ihn einwirken und seine Körperfunktionen steuern würden.

Das bedeutet aber auch, dass bestimmte Wirkungen von künstlicher Beleuchtung durch "zu wenig Licht" verursacht werden. Das gilt auch für Menschen, die ihre Arbeitsumgebung "zu hell" finden. Dieselben Menschen, die 500 lx in Arbeitsräumen als zu hell empfinden, empfinden 5.000 lx im Freien als eine Art Dunkelheit.

3.2 Unspezifische Auswirkungen von Licht und Beleuchtung

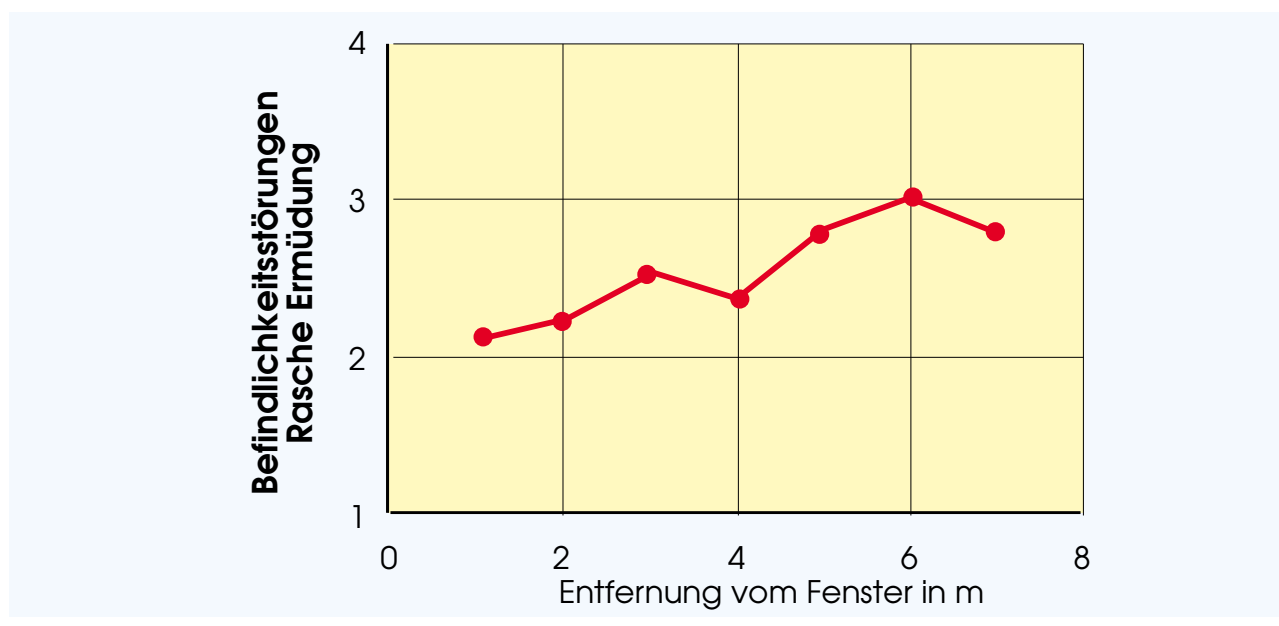
Die gesundheitlichen Auswirkungen des Lichts am Arbeitsplatz, die unspezifische Beschwerden wie Kopfschmerzen oder Augenbeschwerden einschließen, subsumiert man unter dem Begriff "Sick Building Syndrome". Dieser von der Weltgesundheitsorganisation im Jahre 1983 geprägte Begriff umfasst alle negativen Wirkungen der umbauten Umwelt, die sich nicht als eine organisch feststellbare Erkrankung bemerkbar machen. Hierzu gehören u.a. vorzeitige Ermüdung, Benommenheit, Allergien, Kopfschmerzen, Lustlosigkeit usw., allerdings nur dann, wenn die Betroffenen sie während der Arbeitszeit erleben und ansonsten nicht.

Hedge (Hedge, 1991) hat durch umfangreiche Untersuchungen in Großbritannien und in den USA nachgewiesen, dass die künstliche Beleuchtung nach der Klimatisierung die zweitwichtigste Ursache von Sick Building Syndrome darstellt. Da diese Untersuchungen wegen der in

den Ursprungsländern üblichen Fensterlosigkeit die Wirkung des Tageslichts nicht einbezogen haben, sagen die Untersuchungen von Hedge wenig hierüber aus.

Die gesundheitlichen Wirkungen von Licht und Beleuchtung werden in der Ergonomie (und in der Arbeitsmedizin) im Allgemeinen im Sinne des Arbeitsschutzes betrachtet. Diesbezügliche Untersuchungen haben ihren Niederschlag beispielsweise im Forschungsprojekt "Licht und Gesundheit" (Çakir und Çakir; 1990, 1994, 1998) gefunden. Hierbei hat sich u.a. gezeigt, dass die künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten eine der wichtigsten Ursachen des sog. Sick Building Syndrome darstellt, während die natürliche Beleuchtung die Gesundheit auch dann positiv beeinflusst, wenn sie unübersehbare Störungen verursacht (Wärme, Blendung durch Spiegelungen auf dem Bildschirm usw., s. Bild 2).

Bild 2 Abhängigkeit der Gesundheitsstörungen von der Entfernung des Arbeitsplatzes vom nächsten Fenster, hier Item "Rasche Ermüdung" (Çakir und Çakir, 1998)



Ein mit Sicherheit relevanter Wirkungspfad für die Beleuchtung auf die Gesundheit geht über die circadiane Rhythmik des Menschen, von der man lange annahm, sie sei durch externe Einflüsse wie künstliches Licht nur wenig beeinflussbar. Im wesentlichen würde der Gang der Sonne den entscheidenden Zeitgeber spielen. Diese Vorstellungen beruhen z.T. auf Höhlenforschungen, bei denen die künstliche Beleuchtung die Rhythmik nicht hat ändern können. Es wurde jedoch nachgewiesen, dass seinerzeit bei diesen Untersuchungen die Dosis zu gering gewesen ist, und dass bei entsprechender Bestrahlung von ca. 10.000 lx Änderungen der circadianen Rhythmik verursacht werden können. Diese Wirkung wird auf die Veränderung der Melatoninproduktion zurückgeführt.

Die erfolgreiche Behandlung der Winterdepression (SAD = seasonal affective disorders) mit starken Lichtduschen zeigt, dass mehr gesundheitliche Effekte dahinter stehen, als einst angenommen. Über die Wirkungsmechanismen besteht keine Einigkeit. So wird diskutiert, ob künstliches Licht selbst oder ihre Nutzung in der Dunkelzeit, oder aber auch der Mangel an starken Lichteinflüssen die Ursache sein können. (Anm.: In der Literatur wird, wenn von "Licht" die Rede ist, häufig nicht spezifiziert, ob es sich allein um Licht oder um Licht und die benachbarten Strahlungsarten handelt.)

3.3 Psychophysiologische Wirkungen von Licht

Psychophysiologische Wirkungen von Umweltfaktoren können direkt und indirekt alle ergonomischen Grundfaktoren beeinflussen. Das Licht ruft bekanntlich eine Reihe von Effekten hervor, die die Psyche des Menschen betreffen. Sie werden teils bewusst herbeigeführt (z.B. "Festbeleuchtung"), zum Teil muss man sie erleiden (z.B. "Novemberstimmung"). Küller (Küller, 1987) hat nachgewiesen, dass die Beschaffenheit von Licht nicht nur die Hormonproduktion (z.B. Cortisol) kurzfristig beeinflusst, sondern in Verbindung damit auch den jahreszeitlichen Verlauf der Stimmungen des Menschen. Beleuchtung mit unterschiedlicher Spektralverteilung (Lampen mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 5500 K bzw. 3000 K) mit und ohne Tageslichtanteil (mit und ohne Fenster bzw. Oberlichter) hat nach seinen Untersuchungen bei Schulkindern die Hormonproduktion unterschiedlich beeinflusst.

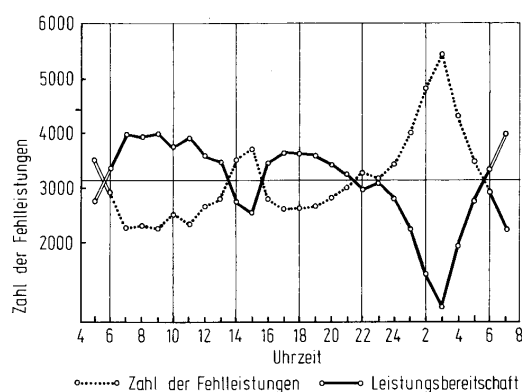
Bei Büronutzern haben bei dem gleichen Versuch Lampen mit einer höheren ähnlichsten Farbtemperatur die Melatoninproduktion im Winter stärker unterdrückt als übliche Leuchtstofflampen und die Stimmung positiv beeinflusst. Diesem als positiv anzusehenden Effekt folgten allerdings negative in dem darauf folgenden Sommer. Das bedeutet, dass eine Beleuchtung, die kurzfristig als Stimulans in positivem Sinne wirkt, sich langfristig durchaus als Stressor erweisen kann. Die Untersuchung von Küller stellt eine hervorragende Demonstration der ambivalenten Wirkung von Licht auf den Menschen dar.

3.4 Beeinflussung der Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft

Die Beleuchtung kann die Leistungsfähigkeit des Menschen direkt durch die Sehleistung beeinflussen (funktionale Aspekte), aber auch indirekt über psychophysiologische Vorgänge, die nicht zuletzt auch das Wohlbefinden bestimmen.

Ein erheblicher Teil der Wirkungen von Licht rührt von dem Bestreben her, die biologische Tagesrhythmik (Bild 3) während des Tages durch künstliche Maßnahmen überlisten zu wollen, um so zu einer möglichst konstanten Arbeitsleistung zu kommen. D.h., sie würden möglicherweise unter sonst gleichen Umständen zur Nachtzeit nicht eintreten.

Bild 3 Biologische Tagesrhythmik und Leistungsbereitschaft (in Anlehnung an Graf nach Werten von Bjerner, Holm und Swensson)



Nutzt man künstliche Beleuchtung, um in der dunklen Tageshälfte arbeiten zu können, kann, neben der beabsichtigten Wirkung, eine negative Wirkung in Form einer Ermüdung eintreten, so z.B. durch Schlafentzug. In diesem Fall müsste eine eventuell festgestellte Wirkung künstlicher Beleuchtung darauf hin untersucht werden, ob das Licht Verursacher oder nur Beteiligter ist.

Langfristig sollen durch nächtliche Beleuchtung nicht nur reversible Effekte wie Ermüdung durch Schlafentzug entstehen, sondern nach neueren Erkenntnissen mittelbar auch Brust-

krebserkrankungen bei Frauen (Stevens und Anderson, 1999). Diesbezüglichen Vermutungen soll in neuen Forschungsprojekten nachgegangen werden. Das bedeutet, dass die Bemühungen, eine rund-um-die-Uhr geöffnete Arbeitsgesellschaft zu realisieren und die dafür erforderliche Umgebung einschließlich der Leistungsfähigkeit und der Leistungsbereitschaft des Menschen zu verwirklichen, zu möglichen Gesundheitsrisiken führen. Ob Licht das Agens bei diesen Risiken darstellt oder lediglich einen Nebenfaktor, muss noch ausgearbeitet werden. Im Übrigen hatte Hartmann bereits vor etwa 30 Jahren darauf hingewiesen, dass viele mit Licht in Verbindung gesehene Probleme eher arbeitsorganisatorischer Art sind, z.B. Einsatz von Menschen für Sehaufgaben, denen sie nicht genügen können.

3.5 Licht als Mittler für “Sehleistung” oder Stressor?

Nach wie vor soll die Beleuchtung von Arbeitsstätten dazu dienen, die für die Sehaufgabe notwendige Sehleistung zu gewährleisten. Die Sehleistung ist aber keine hinreichend genau festgelegte Größe. In dem ansonsten sehr präzisen “Internationalen Wörterbuch der Lichttechnik” wird sie als “Leistung des visuellen Systems, wie sie beispielsweise durch die Geschwindigkeit und die Genauigkeit gemessen wird, mit welcher eine Sehaufgabe gelöst wird” definiert. Aus dieser wenig aussagefähigen Definition lässt sich unschwer erkennen, warum man in der Praxis sehr unterschiedliche Vorstellungen über die Sehleistung entwickelt hat. Man kann darunter beispielsweise die Sehschärfe, die Unterschiedsempfindlichkeit, die Formempfindlichkeit, die Wahrnehmungsgeschwindigkeit oder die Akkommodationsgeschwindigkeit verstehen. All diese Begriffe stammen aus Zeiten, als Sehen noch wenig differenziert betrachtet wurde. Zum Beispiel gehörte das Farberkennen nur bei wenigen Menschen zur Arbeit und der Bildschirm als Arbeitsmittel harrte noch seiner Erfindung.

Wieviel Sehleistung bei der Arbeit tatsächlich gebraucht wird, hängt u.a. naturgemäß von den Sehobjekten ab. Die für eine Sehaufgabe notwendige Sehleistung kann bei den meisten heute üblichen Sehaufgaben bei relativ niedrigen Beleuchtungsstärken erbracht werden, die weit unter den genormten Werten liegen. Hierzu gehören auch die meisten Büroaufgaben. Dies ist nicht nur durch die Arbeiten von Bodmann aus den 60er Jahren belegt (Bodmann, 1961) sondern auch berechenbar, wenn man übliche Sehaufgaben nimmt und die dafür aufzubringende Sehschärfe, d.h. das erforderliche Auflösungsvermögen des Auges, ermittelt.

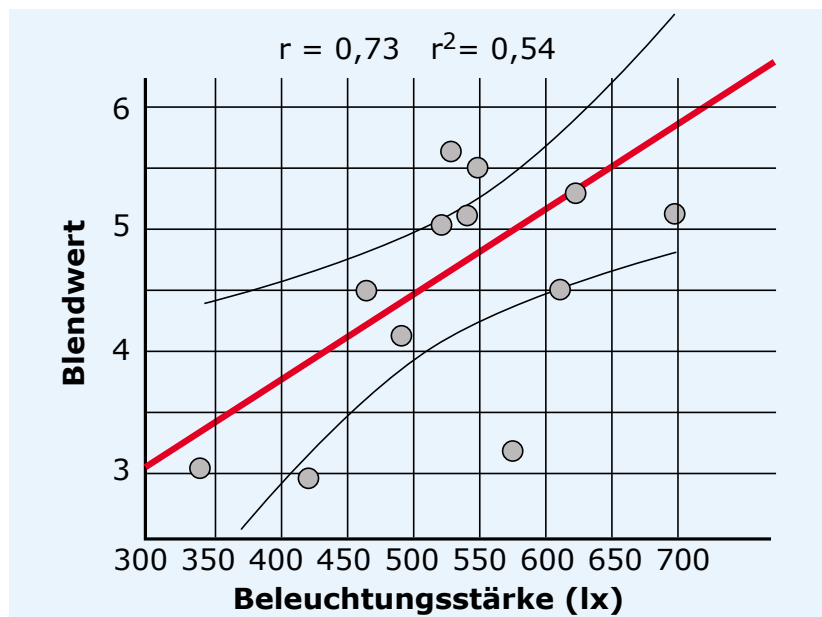
Bei einer Vielzahl von Arbeitsplätzen besitzt die “Sehleistung” als solche keine Bedeutung hinsichtlich der Auslegung der Beleuchtung, weil die Arbeitsumgebungen aus anderen Gründen hinreichend hell sind. Das gilt z.B. für Büroarbeitsplätze, an denen ein Beleuchtungsniveau von ca. 50 lx zum Lesen der Dokumente hinreichen würde. Von der Sehleistung her gesehen brauchen Arbeitsplätze, an denen nur mit Bildschirmgeräten gearbeitet wird, nur eine geringe Beleuchtung.

Heute übliche Bildschirme verlieren durch Fremdlicht an Kontrast und vor allem an Farbwiedergabequalität. Eine Beleuchtung, die mit dem Ziel geplant wird, Sehleistung zu fördern, dient ihrem Zweck nur dort, wo mit passiven Darstellungen gearbeitet wird, z.B. mit Papierunterlagen. Je größer die Bedeutung des Bildschirms ist und je wichtiger die Farbe für die Informationsdarstellung wird, desto geringer fällt die Wirkung der Beleuchtung für die Sehleistung aus. Bei vielen Arbeitsplätzen hat die Beleuchtung überhaupt keine Bedeutung mehr, was das Erkennen von Sehobjekten angeht. Man kann sie daher eindeutig als Stressor identifizieren.

Mitarbeiter an CAD-Arbeitsplätzen, Grafiker bei der Retusche am Bildschirm und andere kreativ Arbeitende haben das Problem lange vor anderen erkannt und arbeiten häufig ohne Beleuchtung. Damit fehlt ihnen aber die stimulierende Wirkung der Beleuchtung als Umweltfaktor: Das Fehlen einer hellen Umgebung könnte sich langfristig als ein mächtigerer Stressor herausstellen als eine nach falschen Gesichtspunkten ausgelegte Beleuchtung.

Eine ungewollte Beeinflussung der Leistungsbereitschaft durch die künstliche Beleuchtung, wird auch von anderen Benutzern abgelehnt. Sie versuchen, solange es geht, mit Tageslicht auszukommen, und schalten daher die Beleuchtung eher notgedrungen ein. Dieses Phänomen haben wir sowohl in Deutschland als auch in vielen anderen Ländern festgestellt. Es ist durch zahlreiche Veröffentlichungen anderer Autoren belegt. Das Phänomen kann damit zusammenhängen, dass die technischen Mittel, mit denen man künstliche Beleuchtung realisiert, uns nicht erlauben, die Steigerung der Sehleistung unabhängig von anderen (negativen) Faktoren zu betreiben. Der in Bild 4 gezeigte Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Blendung dürfte theoretisch eigentlich nicht vorhanden sein.

Bild 4 Empirischer Zusammenhang zwischen der psychologischen Blendung bei künstlicher Beleuchtung und der erzeugten Beleuchtungsstärke. Die Korrelation ist ungewöhnlich hoch für derartige Studien. (Quelle: ERGONOMIC)



Da die psychologische Blendung seit etwa 1970 als ein Faktor gilt, der nicht nur die Befindlichkeit beeinträchtigt, sondern auch zur Ermüdung beiträgt, kann die positive Wirkung des Tageslichts darauf zurückgeführt werden, dass es erlaubt, ungeachtet sonstiger positiver Wirkungen, eine helle Umgebung mit zeitweilig hohen Beleuchtungsstärken zu schaffen, die man mit künstlicher Beleuchtung nicht realisieren kann. Dies bedeutet u.a., dass die relativ hohe Verlässlichkeit der künstlichen Beleuchtung gegenüber der natürlichen in der Summe ihre Nachteile nicht ausgleichen kann. Es bedeutet auch, dass die Förderung der Leistungsbereitschaft durch das Tageslicht die Arbeitsleistung in höheren Maße fördert als die Konstanz der Sehleistung, die eher die künstliche Beleuchtung zu gewährleisten vermag.

Aus der Basis heutiger Erkenntnisse lässt sich die oben angeführte Wirkung in dem von uns festgestellten Ausmaß nicht begründen. Die Erhöhung der Leistungsbereitschaft geht allerdings mit Sicherheit nicht auf die "Sehleistung" zurück, weil sie auch unter Bedingungen feststellbar war, unter denen die Sehleistung eher leiden würde als gefördert.

3.6 Zu epidemiologischen Studien

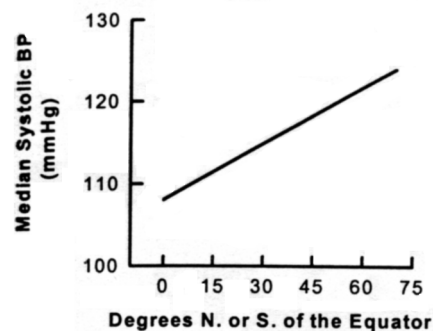
3.6.1 Allgemeines

Die Menschen haben seit jeher die Sonne angebetet. Selbst im Alten Ägypten wurde sie als eine freundliche Gottheit ("Ra") verehrt und nicht als eine strafende, als die sie in der Wüste

hätte eigentlich empfunden werden können bzw. müssen. Im Zuge der Industriellen Revolution und der dadurch ausgelösten Verstädterung wurden die Wirkungen des Tageslichts auf den Menschen, z.T. drastisch schmerzhaft durch Verbindungen zu Rachitis und Tuberkulose, Allen bewusst. Zu Beginn des letzten Jahrhunderts wurde die "Heliotherapie" geboren, die Heilmethode, die sich des Sonnenlichts bediente. Kaum einhundert Jahre zuvor wähte man noch, die Bräunung der Haut durch die Sonne beruhe auf der Hitzewirkung, die sie verursacht (Holick, 1999). Die eigentliche Wirkung musste damals noch experimentell nachgewiesen werden.

Die Chemie, die Medizin und die Fotobiologie haben seitdem große Fortschritte in der Erforschung und der Nutzung der Wirkungen des Lichts auf den Menschen erzielt. Im Wesentlichen beruhen unsere Erfolge auf der Erforschung von Vitamin D und seiner Beziehung zum Sonnenlicht. Dennoch sind viele Fragen offen geblieben, z.B. die Frage, auf welchem Wege die Herzaktivität i.S. eines höheren Blutdrucks durch Licht beeinflusst wird (Bild 5).

Bild 5 Systolischer Blutdruck in Abhängigkeit vom Lebensmittelpunkt nördlich und südlich des Äquators (Holick, 1999)



Das überraschende an diesem Bild ist, dass man die Umwelt am Äquator gewöhnlich als lebensfeindlich einstuft und die gemäßigten Zonen als freundlicher. Weiterhin bemerkenswert ist die Tatsache, dass der Verlauf nördlich und südlich des Äquators gleich ausfällt, obwohl die vergleichbaren Lebensumstände sehr unterschiedlich sind. Wie käme man auf die Idee, dass es in Deutschland und in Neu Seeland bzw. Argentinien ähnliche Lebens- und Arbeitsumstände gäbe, die sich gleichermaßen auf die Physiologie des Menschen auswirken würden?

Eine bestimmte gesundheitliche Wirkung des Lichts, SAD = seasonal affective disorder bzw. Winterdepression, die bei bestimmten Personen als eine echte Erkrankung infolge des Lichtmangels auftritt, dürfte bei einem wesentlich größeren Kreis von etwa einem Viertel der Bevölkerung Mittel- und Nordeuropäischer Länder unspezifische Erscheinungen hervorrufen. Obwohl saisonale Depressionen bereits 400 v.C. bekannt waren, wurde die Ursache von SAD erstaunlicherweise erst im Jahre 1984 mit einer Veröffentlichung von Rosenthal et al. bekannt (Rosenthal et al., 1984). Da sich SAD erfolgreich mit Licht therapieren lässt, kann man davon ausgehen, dass sich seine Entstehung mit hinreichendem Licht natürlichen Ursprungs vermeiden lässt. Hierbei ist wichtig, dass man bei der Therapie mit Simulationen der Veränderung des Tageslichts in den Morgen- bzw. Abendstunden arbeitet, d.h. mit Umweltbedingungen, die Fenster und Oberlichter nebenbei liefern.

Neuere Forschungsarbeiten der Firma Philips, Eindhoven zeigen einerseits, wie wichtig die Veränderung des Lichts für Wohlfühlen und Leistungsfähigkeit ist (Tenner, 1999). Andererseits zeigen sie auch die große Bedeutung des Tageslichts allgemein. Boyce (Boyce, 1998) stellt dar, dass es in dieser Hinsicht nicht gleichgültig ist, ob man künstliche oder natürliche

Beleuchtung ändert, da eine Veränderung der künstlichen Beleuchtung (mit Hilfe einer geeigneten technischen Einrichtung) für den Benutzer vorhersehbar ist, während die Veränderung des Tageslichts einen Überraschungseffekt mit sich bringt und daher für den Menschen wesentlich interessanter ist. (Anm.: Dieses Verhalten ähnelt dem Verhalten von Menschen, die einen Unterschied darin sehen, ob sie ein gern gehörtes Musikstück zufällig im Radio hören oder selbst kaufen und auf eigenen Wunsch spielen.)

Boyce stellt auch dar, dass man durch sinnvolles Nutzen von Tageslicht belastende Sehvorgänge erleichtern kann, ohne dass unerwünschte Störwirkungen parallel auftreten, die eine Belastung für den Benutzer darstellen.

3.6.2 Einflüsse des Lichts mit spezifischen Auswirkungen

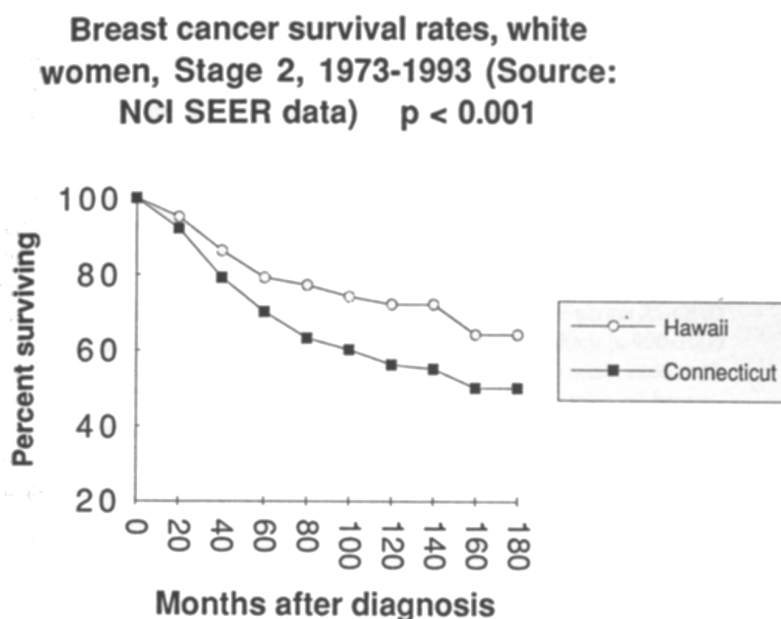
Wie wissenschaftliche und praktische Erkenntnisse z.B. aus den Gebieten Fotobiologie, Heliotherapie oder SAD-Therapie zeigen, besitzt das Licht vielfältige Einwirkungsmechanismen auf den menschlichen Körper, die sich positiv auswirken. Im Umkehrschluss kann man annehmen, dass unterbliebene positive Einwirkungen zu Erkrankungen führen können. Dass eine solche Annahme zu Recht erfolgt, kann man z.B. aus der Historie der Rachitis ableiten.

Die derzeit diskutierten Wirkungen gehen wesentlich weiter. Insbesondere wird die Entstehung von Brust-, Dickdarm- und Prostatakrebs diskutiert, bei denen man eine geografische Abhängigkeit festgestellt hat (Holick, 1999).

Es werden bisher folgende Wirkungspfade vermutet:

- Indirekter Zusammenhang mit der Vitamin D-Produktion, mit einem Wirkstoff, für den Krebszellen verschiedener Art Rezeptoren besitzen.
- Zusammenhang mit der Melatoninproduktion, die durch Lichteinwirkungen gefördert aber auch behindert werden kann. So behindert künstliche Beleuchtung die natürliche Melatoninproduktion, wenn sie in den Dunkelstunden benutzt wird. Dieser Effekt, über längere Zeit wirksam, bewirkt eine Minderung der Östrogenproduktion bei Frauen und kann dadurch eine Erhöhung des Brustkrebsrisikos nach sich ziehen (Hahn, 1991; Stevens und Anderson, 1988).

Bild 6 Überlebensrate von krebskranken weissen Frauen in unterschiedlichen geografischen Regionen der USA



Andererseits ist z.B. gezeigt worden, dass die Überlebensrate bei Brustkrebs dort höher ist, wo mehr Sonnenlicht auf den Menschen einwirkt (Bild 6). Ähnliche Ergebnisse haben epidemiologische Untersuchungen aus der früheren Sowjetunion gezeigt (Garland et al., 1999).

Diesbezügliche Wirkungen des Lichts stehen derzeit im Mittelpunkt des Interesses sowohl in der Medizin als auch in der Arbeitsmedizin. Die noch vor wenigen Jahrzehnten von Arbeitsmedizinern vertretene Ansicht, dass der Ausschluss von Tageslicht keine negativen Wirkungen auf die Gesundheit haben könne, wird heute ebenso wenig Gehör finden wie die Behauptung, man könne mit künstlichen Lichtquellen tageslichtähnliche Situationen schaffen (s. Çakir und Çakir, 1998). Vielmehr ist damit zu rechnen, dass die medizinische Forschung noch mehr Erkenntnisse über die positive Wirkung des Tageslichts zeigen wird, als es bislang geschehen ist.

Fazit

Das facettenreiche Thema "Licht und Gesundheit" verspricht in naher Zukunft viele interessante Erkenntnisse zu bringen. Ob man hierbei erfolgreich sein wird, hängt in erster Linie mit unserem methodischen Vorgehen zusammen. Licht und Beleuchtung schlagen sich in den vorliegenden Forschungsergebnissen teils als Stimulans teils als Stressor. Manche mit der künstlichen Beleuchtung in Verbindung gesehene negative Wirkung könnte ihre Ursache durchaus im Fehlen von natürlichem Licht in ausreichender Quantität haben.

Viel natürliches Licht in Arbeitsumgebungen und eine individuell beeinflussbare künstliche Beleuchtung können dem Licht viel von seinen Wirkungen als Stressor nehmen und es als Stimulans erscheinen lassen.

4 Literatur

Boyce, P.R.: Why daylight? In: *Proceedings of Daylighting '98*, 1998

Çakir, A., Çakir, G.: *Licht und Gesundheit - Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros*, 3. erweiterte Auflage, ERGONOMIC, Berlin, 1998

Garland, C.F., McEligot, A., Shanks, T., Garland, F.C., Gorham, E.D.: Epidemiology and the role of sunlight. In: Holick M.F., Jung, E.G.: *Biologic effects of light 1998: Proceedings of a symposium*, Basel, Schweiz, 1998, Kluver Academic Publishers, Norwell, 1999

Hedge, A.; Erickson, W.A.; Rubin, G.: VDT use, job stress, job satisfaction and the sick building syndrome in offices. In: *Designing for Everyone, Proceedings of the 11th Congress of the IEA*, Taylor and Francis, London, 1991

Holick: Biological effects of light: Historical and new perspectives. In: Holick M.F., Jung, E.G.: *Biologic effects of light 1998: Proceedings of a symposium*, Basel, Schweiz, 1998, Kluver Academic Publishers, Norwell, 1999

Hahn, R.A.: Profound bilateral blindness and the incidence of breast cancer, *Epidemiology* 2: S. 208-210, 1991

Hartmann, E.: *Optimale Beleuchtung am Arbeitsplatz*, Friedrich Kiehl Verlag GmbH, Ludwigshafen/Rh., 1977

Küller, R.: The effects of indoor lighting on well-being and the annual rhythm of hormones. *CIE 21st session*. Venice 1987, Vol. 1, No. 601, S. 342 345

Stevens, R.G., Anderson, L. E.: The role of light in breast cancer. In: Holick M.F., Jung, E.G.: *Biologic effects of light 1998: Proceedings of a symposium*, Basel, Schweiz, 1998, Kluver Academic Publishers, Norwell, 1999

Tenner, A.: Einfluss der Beleuchtung auf Wohlfühlen und Leistungsfähigkeit, Vortrag bei dem *Lichttechnischen Symposium "Physiologische und psychologische Grundlagen der Innenbeleuchtung"* an der Universität Karlsruhe am 7. Oktober 1999