

Licht und Gesundheit

Aspekte der optischen Strahlungswirkungen auf Menschen, strahlungsphysikalische und meßtechnische Konsequenzen

Dr.Ing. Joachim Fisch¹, Dr.Ing. Tran Quoc Khanh²

1 Einleitung

Im Auftrag der Maschinenbau und Metallberufsgenossenschaft / Fachausschuß Eisen und Metall III / Fachgebiet Lichttechnik wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt /1/.

Die Recherche stellt eine kritische Auseinandersetzung mit der Literatur dar. Dabei wurden von den über zehntausend medizinisch-biologischen und physikalisch-technischen wissenschaftlichen Veröffentlichungen, die im Zeitraum 1800 – 2000 weltweit existieren, 773 in Form von Forschungsberichten, Zeitschriftenveröffentlichungen, Büchern, Vorträgen und Patentschriften eingesehen und bewertet.

Die Betrachtung der evolutionsgeschichtlichen Entwicklung auf unserer Erde und die dabei sich ständig neu entwickelnden Wechselbeziehungen „Optische Strahlung – Leben“ waren dabei unumgänglich. Eine kritische Bewertung des heutigen Standes der Technik und eine Verbesserung der interdisziplinären wissenschaftlich-technischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zusammen mit Medizinern, Biologen und Ingenieuren sind für die Gegenwart und Zukunft erforderlich, um daraus Kenntnisse zu gewinnen, womit Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsumwelt bewirkt und Lichtschädigungen durch zu niedrige Beleuchtungsniveaus minimiert werden können. Das Ergebnis dieser Literaturrecherche wurde hier zusammenfassend dargestellt und um den Teil der strahlenschutztechnische Normungen und Strahlungsmeßtechnik notwendigerweise erweitert.

2 Photobiologische Prozesse und deren Grundsätze

Die Spezies Mensch befindet sich in enger komplexer Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Zwischen Mensch und Umwelt finden Austauschvorgänge statt. Bekannt ist, daß der Mensch Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid als Verbrennungsprodukt abgibt und daß er Nahrungsmittel aufnimmt und abgebaute Nahrung ausscheidet. Außerdem weiß man, daß der Mensch optische Strahlung absorbiert und im infraroten Strahlungsbereich emittiert. Die Strahlungsemission im sichtbaren und sogar UV-Strahlungsbereich ist weniger bekannt und wird erst seit einigen Jahren mit hochempfindlicher Meßtechnik untersucht.

Andere Umwelteinflüsse wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und mögliche Streßbelastungen, z.B. Lärm und Blendung, werden in dieser Literaturrecherche nur zweitrangig betrachtet, obwohl deren Einflüsse nicht vernachlässigt werden dürfen. Interdisziplinäre Forschungen sind dazu verstärkt erforderlich /1/.

Photobiologische Prozesse, die auch beim Menschen ablaufen, gehorchen den Grundgesetzen der Photobiologie und Photochemie. Von besonderer Wichtigkeit sind die Vorgänge, die von der Strahlung über die Haut, die Augen und die Haare in Gang gesetzt werden. Mit Kenntnissen über Wirkungen der Strahlung auf diese Organe können Aussagen zu positiven und negativen Folgen gemacht werden. Die Entstehung, Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung des Lebens bzw. der lebenden Organismen sind auf das Engste auch mit dem Einfluß ultravioletter Strahlung verbunden. Sowohl die Ausbildung der primären Sauerstoffatmosphäre wie auch die erste abiogene Synthese biologisch aktiver Bausteine sind auf die photobiologischen Wirkungen ultravioletter Strahlung zurückzuführen.

Die optische Strahlung, insbesondere ihr ultravioletter Anteil, zählt zu den wichtigsten Umweltfaktoren, da sie als Energie- wie auch als Informationsquelle eine wesentliche Voraussetzung für die Existenz und Weiterentwicklung der Lebewesen ist. Intrazelluläre Schutzmechanismen in Form von Reparatursystemen und spezifischen Molekülen sorgen dafür, daß unter natürlichen Bedingungen Überdosierungen nicht wirksam und somit schädliche Effekte weitestgehend vermieden werden.

1. Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Lichttechnik
2. Firma Arnold&Richter GmbH München, Abt. Technische Forschung und Entwicklung

Kommt es durch die Bestrahlung zu photochemischen und/oder photobiologischen Veränderungen, so findet eine aktive Absorption statt, d. h. die Strahlung wirkt aktinisch. Sehr häufig sind am Bestrahlungsobjekt passive und aktive Absorption gleichzeitig wirksam.

Für die photochemischen Reaktionsabläufe gilt das von *Grothus* und *Draper* formulierte erste Grundgesetz der Photochemie, das besagt, daß nur die vom Reaktionsgemisch absorbierte Strahlung photochemisch wirksam ist. Außerdem gilt das zweite Grundgesetz. Dieses besagt: die photochemische Wirkung ist der eingestrahlten Energiemenge proportional (*Bunsen-Roscoesches-Gesetz*).

Der Zusammenhang wird durch das *Stark-Einsteinsche* Gesetz bestimmt. Es beinhaltet, daß eine quantitative Beziehung zwischen der absorbierten Strahlung und der umgesetzten Stoffmenge vorhanden ist. Man spricht deshalb vom *Stark-Einsteinschen-Äquivalentgesetz*.

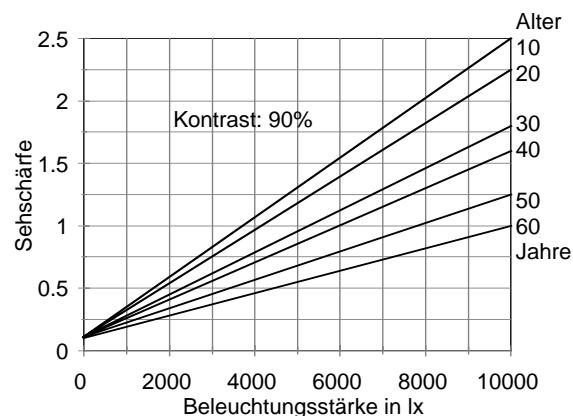
Im einzelnen bedeutet das:

- Die primäre photochemische Reaktion ist streng monomolekular.
- Durch ein Energiequant wird ein Molekül umgesetzt.
- Die Primärreaktion ist nahezu temperaturunabhängig. Die nachfolgenden Dunkelreaktionen können von der Temperatur beeinflußt werden.
- Zwischen primär umgesetzter Stoffmenge und der absorbierten Strahlungsmenge besteht Proportionalität.

Der für die Erhaltung des menschlichen Lebens benötigte Strahlungsbereich liegt zwischen Wellenlängen von 0,3 μm und 10 μm . Wesentliche photobiologische Stoffwechselvorgänge finden zwischen 300 nm und 800 nm statt. Ganz allgemein gilt, daß hohe Dosisbelastungen zu Schädigungen führen. Bei ausreichender Dosis der energiereichen Strahlung (UV-Strahlung) können irreversible Änderungen (Schädigungen) eintreten. UV-Strahlung ist in der Lage, in Abhängigkeit von der Wellenlänge in Mikroorganismen und Lebewesen einzudringen und dort in Abhängigkeit von der Dosis die Stoffwechselvorgänge zu beeinflussen. Dies ist schon viele Jahrzehnte bekannt und intensiv untersucht worden /1/. Das Spektrum der Beeinflussung geht von der Stimulierung der Stoffwechselvorgänge bis hin zur Abtötung lebender Mikroorganismen und Zellen höherer Lebewesen.

Für längerwellige Strahlung (Wellenlängen > 800 nm) hat der menschliche Organismus keine direkten photobiologischen Empfänger entwickelt. Die Photonenergie ist zu klein. Es kommt nur zu einer Erwärmung, die aber bei hohen Bestrahlungsstärken und Dosen auch eine Stoffumwandlung bewirken können. Seit langem ist bekannt, daß 85% aller Sinneswahrnehmungen optischen Ursprungs sind. Licht ist der Mittler auf der Strecke Sehobjekt-Auge-Gehirn. Für diese Leistungen benötigt der Mensch 25% seines gesamten Energiehaushaltes.

Man weiß auch, daß optische Strahlung nicht nur dem Sehprozeß dient, sondern darüber hinaus viele Organfunktionen und Verhaltensweisen des menschlichen Körpers regelt. Diese Aussagen sind seit vielen Jahrzehnten immer wieder unter anderen Gesichtspunkten erforscht worden /1/. Dabei wurde sehr frühzeitig der Untersuchung der Sehschärfe, dem relevantesten Parameter des Sehvorganges, besonderes Augenmerk geschenkt. Bild 1 zeigt schematisch die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke und vom Lebensalter.



2.1.1

Bild 1 Abhängigkeit der Sehschärfe von Beleuchtungsstärke und Lebensalter /2/

Daß eine Beleuchtungsniveausteigerung eine erhöhte geistige und körperliche Leistungssteigerung mit sich bringt und daß Lichtmangel krankmachen kann, ist gründlich bekannt gewesen /1/.

Mit wissenschaftlichen Untersuchungen wurde mehrfach nachgewiesen, daß Leistungszuwachs, Ausschuß und Unfallrückgang mit der Beleuchtungsstärke in Arbeitsstätten in Verbindung gebracht werden können /1/, /2/, /3/.

Bereits in den 70er Jahren gab es Arbeitsplätze in Deutschland mit Beleuchtungsstärken von 1000 bis 3000 lx /4/. Viele Untersuchungen in den 80er und 90er Jahren zeigten, daß niedrige Beleuchtungsniveaus, sogar mit Beleuchtungsstärken von $E \leq 500$ lx für spezielle Arbeitsaufgaben Wahrnehmbarkeit garantieren. Neuere Arbeiten tendieren wieder zu höheren Grundbeleuchtungsniveaus, z. B. /5/. Derzeit werden beleuchtungstechnische Größen in den DIN-Normen festgelegt /6/, /7/, /8/.

Wiederholt muß festgehalten werden, daß es ein großer Irrtum ist und bleibt, daß die Beleuchtung nur in Zusammenhang mit dem Sehprozeß in Verbindung gebracht werden muß. Seit langem ist bekannt, daß es außer Zapfen und Stäbchen in der Netzhaut noch weitere lichtempfindliche Empfänger gibt, die allerdings nicht der optischen Wahrnehmung sondern der Signalaufnahme zur Weiterleitung des optischen Reizes zur Zirbeldrüse und zur Hypophyse dienen /1/. Die optische Strahlung, auch ein Teil der nicht-sichtbaren Strahlung (UV- und IR-Strahlung), beeinflußt den Hormonhaushalt und triggert die innere Uhr aller Lebewesen in tages-, wochen- und jahreszeitlichen Rhythmen /9/, /10/. Man spricht von circadianen Rhythmen.

Die Beleuchtung ist ein wichtiger Teil der physikalisch-biologischen Umgebung sowohl am Arbeitsplatz als auch im privaten Bereich. Eine ausgewogene Beleuchtung im Gesichtsfeld insbesondere am Arbeitsplatz und dessen Umgebung sowie wohlbefindliche Lichtfarben sorgen nicht nur für momentanes Wohlbefinden, sondern dienen langfristig dem gesunden Leben mit optischer Strahlung /1/, /11/.

Von Cakir wurden in /11/ sechs Hypothesen aufgestellt und Erläuterungen dazu gegeben, die sich nur auf die Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit Leuchtstofflampen beziehen. Im Ergebnis der Auswertung vieler Literaturstellen kommt der Verfasser der Literaturrecherche /1/ zu dem Schluß, daß diese sechs Hypothesen auch auf andere Beleuchtungssysteme übertragbar sind.

Entwurf und Bau fensterloser Projektierungs- und Fertigungseinrichtungen mit der zwangsweise nur künstlichen Beleuchtung waren eine architektonische und technische Entgleisung, deren biologische, medizinische und wirtschaftliche Folgen bis heute nicht gründlich untersucht wurden /12/, /13/, /14/, /15/. Die Rückbesinnung zur Benutzung des natürlichen Lichtes in der Raumausleuchtung zeigt den gegenwärtigen Trend. Dies fördert Wohlbefinden und Gesundheit /11/, /16/, /17/, /18/.

Die Entwicklung und Technisierung von Bildschirmarbeitsplätzen schränkt jedoch abermals die Tageslichtnutzung ein, obwohl die visuellen und energetischen Belastungen enorm steigen. Man spricht von "Lichtschutzvorrichtungen zur Ablenkung des Tageslichtes an Bildschirmarbeitsplätzen". Festlegungen gibt es dazu in der Bildschirmarbeitsplatzverordnung, siehe auch /19/.

Nicht nur im Arbeitsprozeß, sondern auch im Freizeitverhalten der Menschen gab es besonders in den letzten 100 Jahren gewaltige Veränderungen. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts waren viele Menschen in der Landwirtschaft tätig und somit stärker der natürlichen Sonnenstrahlung ausgesetzt. Dies hatte nicht nur positive Auswirkungen auf die Gesundheit sondern auch negative. Recht häufig gab es an den der Sonnenstrahlung zu lange und zu oft ausgesetzten Körperoberflächen Hautveränderungen bis hin zu Hautkrebs. Laufend besser werdende Produktionstechniken in der Landwirtschaft und Industrie bewirkten höhere Produktivität und eine enorme Umverteilung der Arbeitskräfte. Ein Großteil der Menschen entzog sich damit der häufigen und intensiven Sonnenbestrahlung. Da die in den Arbeitsräumen notwendige künstliche Beleuchtung weder bezüglich Wellenlängen, Lichtfarben und Beleuchtungsstärken der natürlichen Sonnenstrahlung entsprach, entstanden bei nicht wenigen Menschen Lichtmangelerscheinungen.

3 Zusammenfassung bisheriger Untersuchungen aus der Literatur

Seit den 70er Jahren wird intensiv an der Entwicklung und Gestaltung optimaler und dem Menschen wohlbefindliche Eindrücke vermittelnder Arbeitsplatzbeleuchtung geforscht und gearbeitet. Viele Literaturstellen sind dazu beispielsweise in /5/, /7/, /11/ und /20/ enthalten. Sehr frühzeitig war bekannt, daß Beleuchtungsstärken über 1000 lx einen positiven Einfluß auf die Gesundheit haben /1/. Dennoch wurden Festlegungen getroffen und Normen festgelegt, die ihren Ursprung in wissenschaftlichen Untersuchungen zur Erkennbarkeit der Arbeitsaufgaben und zum Wohlbefinden bei entsprechender Beleuchtung am Arbeitsort haben. In /5/, /7/, /11/ und /20/ werden sie ausführlich zitiert. Die Lichttechnik, sowohl

Licht- und Strahlungsquellen, als auch Beleuchtungsanlagen mit Betriebsgeräten haben eine enorme Weiterentwicklung erfahren. Heute ist es an vielen Arbeitsplätzen möglich, durch mechanische und/oder elektronische Regelungen die Beleuchtungsstärken sowohl für Tageslicht aber auch Kunstlicht individuell zu regeln. Berücksichtigt man den wesentlichen Faktor "Gesundheit", also Gesunderhaltung infolge künstlicher Beleuchtung, langfristig, so sollte man die über mehrere Jahrzehnte gesammelten Erfahrungen im medizinischen und biologischen Bereich nutzen und höhere Beleuchtungsniveaus mit individueller Einstellbarkeit sowohl hinsichtlich der Lichtfarben als auch der Helligkeit realisieren. In /11/ und /18/ werden beispielsweise Vorschläge dazu unterbreitet.

Bei künftig zu projektierenden Beleuchtungsanlagen muß im Vordergrund die Gesunderhaltung der Menschen stehen. Dies schließt die Sehleistung und Erkennbarkeit von Sehobjekten ein. Die Beleuchtung muß eine Aktivierung körperlicher und/oder geistiger Arbeit bewirken. Damit führt die Tätigkeit auch nicht zur Ermüdung und zu ermüdungsbedingten Fehlern. Es ist weiterhin noch zu klären, ob eine gewisse Blendung nicht positive Effekte im Arbeitsprozeß und für die Gesundheit bewirken kann. Die Unzufriedenheit über Beleuchtungskonzepte zeigt sich in der zunehmenden Tendenz, "Licht und Gesundheit" als ein Ganzes zu betrachten. Forschungsprojekte und Tagungsthemen versuchen die Beleuchtungsprobleme der Gegenwart und Zukunft ganzheitlich anzugehen. Dies ist auch im Sinn der zitierten Literaturstudie. Die ins Leben gerufene Tagung "Licht und Gesundheit" im Jahre 2000 war ein sinnvoller Anfang zur verstärkten interdisziplinären Arbeit.

4 Wechselwirkungen optischer Strahlung und lebender Materie

Das Bild 2 demonstriert in allereinfachster Form die Wechselwirkungen lebender Materie und optischer Strahlung. Diese Darstellung soll nur die Zustände allgemein beschreiben und sagt nichts über Wellenlängen und Dosisabhängigkeiten aus. Die eigentliche Zellstrahlung ist in dieser Darstellung nicht enthalten, da diese um Größenordnungen kleiner ist. Um konkreter zu Wechselwirkungen und deren Ergebnissen zu kommen, wurden beispielhaft die menschliche Haut, das menschliche Blut, das menschliche Auge und das menschliche Haar ausgesucht.

4.1 Wirkungen auf Blut, Haut, Augen und Haare

Für den Menschen war von jeher der sichtbare Bereich wegen der visuellen Wahrnehmung von besonderer Bedeutung. Die Auswirkungen der unsichtbaren Strahlung wurden z. T. für therapeutische Zwecke in der Medizin genutzt. Seit der Entdeckung der UV-Strahlung durch *Ritter* /21/ im Jahre 1801 beschäftigten sich viele Generationen von Physikern, Chemikern, Medizinerinnen und Technikern mit der Erzeugung, Untersuchung und Anwendung der energiereichen optischen Strahlung. In der Literatur sind in zahllosen Beiträgen die schädigenden und/oder biopositiven Wirkungen optischer Strahlung beschrieben /1/. Wichtige Parameter und Festlegungen sind in den Normvorschriften enthalten.

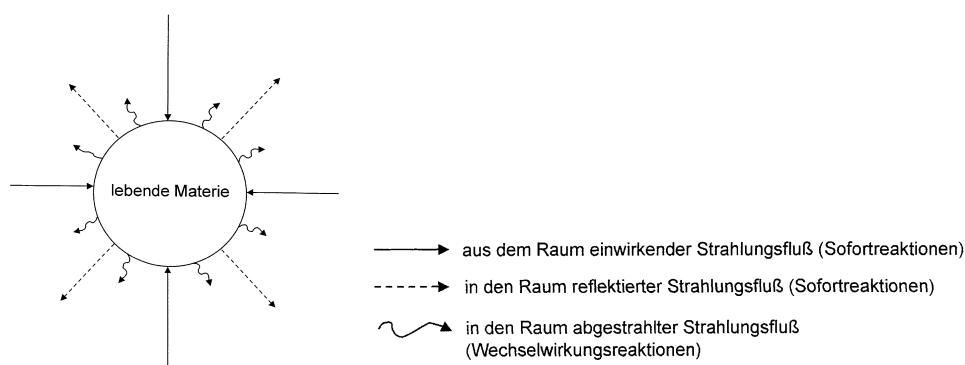


Bild 2 Stark vereinfachte Darstellung der Wechselwirkung optischer Strahlung mit lebender Materie

1983 untersuchten *Riemann* u. a. /22/ erneut die Absorptions- und Transmissionseigenschaften von Blut und seiner Bestandteile mit moderner Meßtechnik. Bild 3 demonstriert den Sachverhalt. Die Ergebnisse von *Schubert* /23/ und *Kollath / Suhrmann* /24/ wurden damit erhärtet.

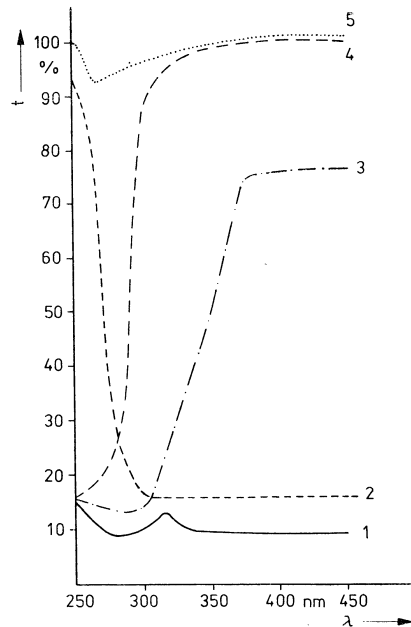


Bild 3 Transmissionskurven der einzelnen Medien:
 1 Vollblut/Aqua dest., 2 Erythrozytenkonzentrat / Konservenstabilisator,
 3 Serum/Aqua dest., 4 Konservenstabilisator / Aqua dest., 5 Natrium citricum/ Aqua dest

Dies hatte Auswirkungen auf die Entwicklung und die Produktion neuer Blutbestrahlungsgeräte für medizinische Therapien. Für die medizinische Behandlung der Neugeborenenengelbsucht (Hyperbilirubinämie) wurden spezielle Geräte und Verfahren entwickelt /25/. Die Photonenenergie von $E = 2,7 \text{ eV}$ im Blaulichtbereich reicht aus, das Bilirubin zu zersetzen. Blut, speziell das Hämoglobinmolekül, ist, wie seit langem bekannt, nicht nur Target für die kurzwellige optische Strahlung im UVB bis Blaulichtbereich /22/, /23/, /24/, /26/, sondern soll auch "Transporteur" der Strahlungsenergie zu den Zielorganen sein, wie neuere Veröffentlichungen darlegen /27/, /28/.

Die Kenntnis der optischen Eigenschaften der Haut ist unentbehrlich für das Verständnis der Auswirkungen der Strahlung. Aus optischer Sicht ist die Haut ein inhomogenes Medium, das aus vier Schichten besteht: Hornschicht (Cuticie), Stachelzellenschicht (Germinative Zone), Lederhaut (Dermis) und Unterhaut (Subkutis). Die einzelnen Hautschichten haben einen unterschiedlichen Brechungsindex und eine unterschiedliche Verteilung der Chromophore, was zu unterschiedlichen Reflexions-, Übertragungs- und Streuungseigenschaften je nach Wellenlänge führt. Die Eindringtiefe der Strahlung in die Dermis wird wegen des Gefäßsystems mit der Absorption der Strahlung durch das Blut (Hämoglobin, Oxyhämoglobin) im Wellenlängenbereich 300 nm und 600 nm und durch die Streuung in der Kollagenfaserschicht beeinflusst. Die Farbstoffe in der Hornschicht sind vorrangig Melanin, Urocaninsäure und Proteine. Die Hornhautunterschicht besteht aus lebensfähigen Zellen und besitzt die gleichen Farbstoffe wie die Hornschicht. Hier spielen die Nukleinsäuren der DNA bezüglich der kurzwelligen UV-Strahlung eine lebenswichtige Rolle.

Strahlung mit Wellenlängen zwischen 800 nm und 1400 nm (kurzwelliges Infrarot) kann am tiefsten bis in die subkutane Schicht eindringen, die daher als das optische Fenster der Haut bezeichnet wird.

Die Augen sind im Zusammenhang mit dem Gehirn wohl die kompliziertesten Organe. Auf der einen Seite wird ein Sinnesindruck unserer Umwelt optisch vermittelt und parallel wird über die von *Hollwich* /29/, /30/, /31/, /32/, /33/, /34/, /35/ bezeichnete energetische Sehbahn, Verhalten, Entwicklung oder Stagnation sowie tages und jahreszeitliche Anpassung des menschlichen Organismus gesteuert. Viele dieser Mechanismen befinden sich erst am Beginn der Klärung. *Hollwich* /32/ hat bereits im Jahre 1963 die Reaktionen der Eosinophilenzahl auf okuläre Lichtreize untersucht. Dabei wurden bei einer normalsichtigen Probandin der Abfall der Eosinophilen Zellen nach 20 min Bestrahlung mit Kunstlicht unterschiedlicher Lichtintensität betrachtet. Es konnte nachgewiesen werden, daß mit zunehmender Beleuchtungsstärke der eosinophenische Effekt als Folge einer vermehrten Cortisolausschüttung der Nebennierenrinde ausgeprägter und frühzeitiger eintritt. Dieser Effekt wurde von anderen Autoren bestätigt. Bild 4 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse. Die Konzentration der Eosinophilen Granulozyten ist demnach abhängig von der Beleuchtungsstärke.

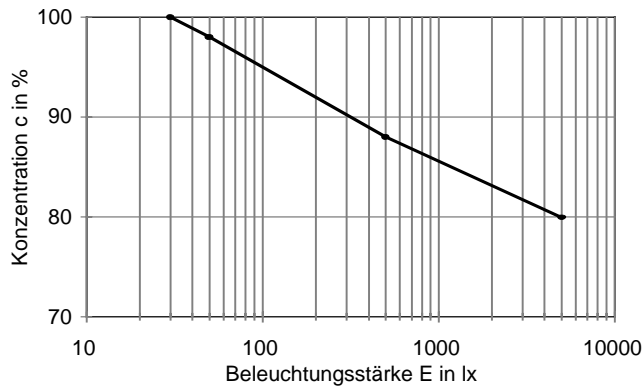


Bild 4 Konzentration c der Eosinophilen Granulozyten (24% der Blutleukozyten, 100300 Zellen/ μ l) in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke E /32/

Nach *Wirz-Justice in Jung / Hollick /36/* kann die Grenze der biologischen Wirksamkeit des Lichtes bei Beleuchtungsstärken von $E = 2000$ lx gezogen werden, wenn man die Melatoninproduktion untersucht. Diese wird ab 2000 lx unterdrückt.

Auch ein Teil der biologisch-medizinischen Steuerungsmechanismen über die energetische Bahn ist bekannt. Eine zusammenfassende Darstellung wurde von *Stark und Methling /37/* gegeben. In den letzten Jahren sind neue Erkenntnisse dazugekommen. Die vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse aus dem medizinischen Bereich, von *Saller /17/* herausgearbeitet, zwingen zum erneuten Nachdenken über gesunde Beleuchtungstechniken, siehe auch Bild 5.

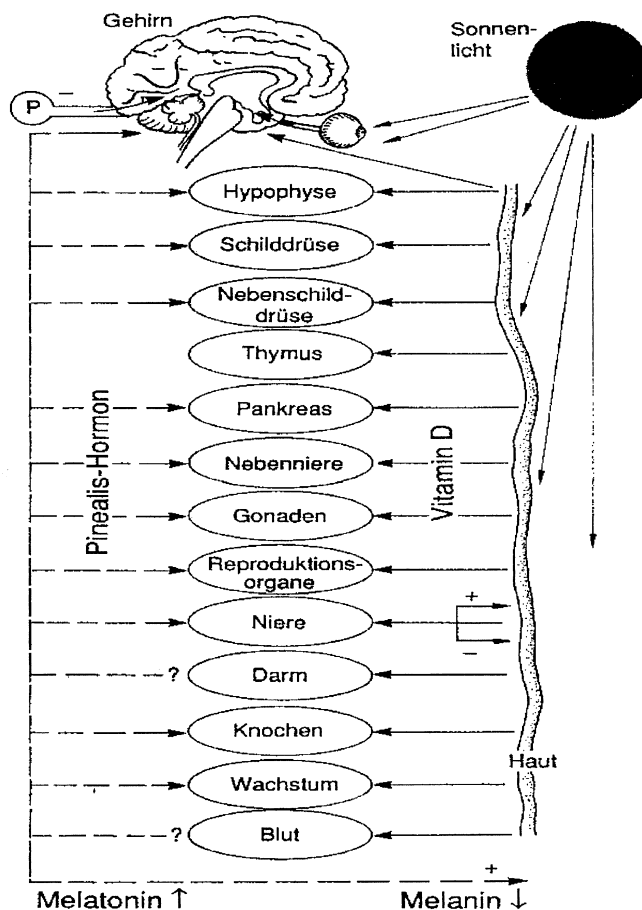


Bild 5 Schematische Zusammenfassung der endokrinen Systeme Haut, Vitamin D und Auge – Pinealis nach *Stumpf /17/*

Haare sind Lichtleiter. Tierische Haare wurden sehr gut auf ihre Strahlungsflüsseigenschaften untersucht /38/. Das Verhalten menschlichen Haares bezüglich der Speicherung und Weiterleitung optischer Strahlung ist bisher kaum erforscht worden. Eine Ausnahme bilden die Cochlear Haarzellen, bei denen viele Untersuchungsergebnisse vorliegen z. B. /39/. Alle Literaturstellen weisen auf Lichtleit- und Speicherei-

genschaften hin /38/, /39/. Aus diesen Ergebnissen ist abzuleiten, dass es unbedingt erforderlich ist, die Lichtleit- und Lichtspeichereigenschaften menschlichen Kopfhaares zu untersuchen. Ergebnisse dieser Forschungen werden möglicherweise Denkanstöße für weiterführende biologische und medizinische Untersuchungen geben, in deren Folge grundlegende Überlegungen für neue Beleuchtungskonzepte und therapeutische Verfahren entstehen werden.

4.2 Lichtmangelschädigungen

Depressionen gehören heute zu den häufigsten psychiatrischen Erkrankungen. Vermutlich hat es sie schon immer gegeben. *Menzel* /1/ machte bereits 1962 auf den menschlichen Tag-Nacht-Rhythmus und Schichtarbeit aufmerksam. Zu Beginn der 80er Jahre erscheinen in zunehmendem Maße Veröffentlichungen, die sich mit circadianen Rhythmen befassen /40/, /41/, /42/, /43/, /44/, /45/, /46/, /47/, /48/, /49/, /50/. 1980 berichteten *Lewy u. a.* /51/, daß ein Zusammenhang zwischen dem Wechsel der Jahreszeiten einerseits und der Häufigkeit und Intensität des Auftretens von Depressionen andererseits besteht. *Lewy* entdeckte, daß helles Licht die allnächtliche Melatoninausschüttung unterdrückt und den Körper auf Tagbetrieb umstellt. Die Folgejahre bestätigten, daß dieses Nachtsignal "Melatoninausschüttung" manipuliert werden kann. Die Patienten zeigen als Besonderheiten neben der Bindung der Depression an die sonnenarmen Wintermonate noch den Drang zum vermehrten Essen, z. B. Appetit auf Süßigkeiten, eine Gewichtszunahme, erhöhtes Schlafbedürfnis und Zunahme der depressiven Beschwerden zum Nachmittag und Abend.

Die Wirksamkeit der Lichttherapie ist in vielen Studien belegt worden. So konnte ein Nachlassen depressiver Symptome bei SAD in über 50% erreicht werden. Als erforderliche Beleuchtungsstärken am Auge werden vorerst 2500 bis 10000 lx empfohlen. Bei Beleuchtungsstärken von 2500 lx am Auge soll die Bestrahlungsdauer 2 Stunden betragen, bei 10000 lx 30 bis 40 Minuten /1/.

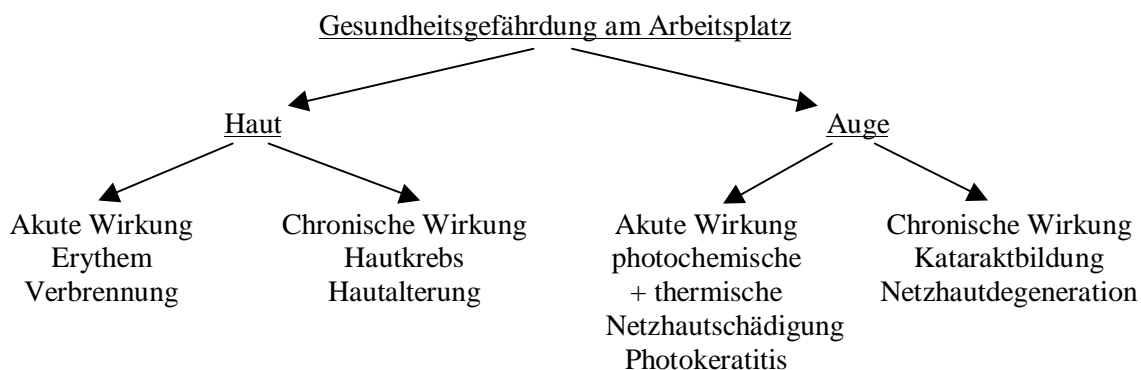
5 Strahlungsphysikalisch-technische Konsequenzen

5.1 Einführende Aspekte

In medizinischen, biologischen und technischen Bereichen sind ungewollte Schäden zu verhindern und gewollte Veränderungen zielgerichtet zu optimieren /1/.

Mit indirekter schädlicher Wirkung von UV-Strahlung ist die Fähigkeit gemeint, gefährliche Stoffe zu erzeugen oder über photochemische Zersetzungen **explosibel** verlaufende Reaktionen von Stoffen auszulösen. Auf solche Schädigungsmöglichkeiten ist zu achten, wenn bei irgendwelchen Prozessen UV-Strahlung ausreichender Leistung eingesetzt wird. Die Auswirkungen für den Menschen können z. B. durch Ozonbildung gravierender sein als durch eine Bestrahlung in ausreichender Entfernung /8/, /52/.

Aufgrund der geringen Tiefenwirkung der energiereichen optischen Strahlung beschränken sich Gesundheitsgefährdungen am Arbeitsplatz vorwiegend auf das Auge und die Haut, wobei man zwischen akuten und chronischen Wirkungen unterscheiden muß /53/:



Für die Bewertung der energiereichen optischen Strahlungsschädigung sind zum einen für die Netzhaut des Auges die effektive Strahldichte (bzw. zeitintegrierte Strahldichte) und zum anderen für die Haut, für die Hornhaut und für die Augenlinse die effektive Bestrahlungsstärke (bzw. die Bestrahlung, auch Dosis genannt) entscheidend, die auf einem konkreten Arbeitsplatz ermittelt werden können:

Photobiologisch wirksame Strahldichte (in $W / (m^2 \cdot sr)$) :

$$L_{\text{biol}} = \int_0^{\infty} L_{\text{e}}(\lambda) \cdot S(\lambda)_{\text{biol, rel}} \cdot d\lambda \quad (1)$$

$L_{e\lambda}(\lambda)$: spektrale Strahldichte der Strahlungsquellen

Photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke (in W/m^2):

$$E_{\text{biol}} = \int_0^{\infty} E_{e\lambda}(\lambda) \cdot s(\lambda)_{\text{biol,rel}} \cdot d\lambda \quad (2)$$

$E_{e\lambda}(\lambda)$: spektrale Bestrahlungsstärke der Strahlungsquellen

Photobiologisch wirksame Bestrahlung (Dosis, in J/m^2):

$$H_{\text{biol}} = \int_0^{t_1} E_{\text{biol}} \cdot dt \quad (3)$$

wobei $s(\lambda)_{\text{biol,rel}}$ die für die einzelnen Effekte auf die Haut oder im Auge relevanten spektralen Wirkungsfunktionen darstellen.

Werden die Expositionsgrenzwerte in den Regelwerken als effektive Strahldichte L_{grenz} bzw. effektive Bestrahlungsstärke E_{grenz} angegeben, dann sollen für sichere Arbeitsplätze die folgenden Bedingungen gelten:

$$E_{\text{biol}} \leq E_{\text{grenz}} \quad \text{bzw.} \quad L_{\text{biol}} \leq L_{\text{grenz}} \quad (4)$$

Werden die Expositionsgrenzwerte als zeitintegrierte Strahldichte L_i bzw. Bestrahlung (Dosis) H angegeben, kann man daraus die maximal zulässige Expositionsdauer t berechnen:

$$t = L_i / L_{\text{biol}} \quad \text{bzw.} \quad t = H / E_{\text{biol}} \quad (5)$$

5.2 Relevante Wirkungsfunktionen zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz

Für die Beurteilung und Messung der Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz sind die nachfolgenden Wirkungsfunktionen und Grenzwerte durch internationale Richtlinien bekannt /53/.

5.2.1 Gesamte Gesundheitsgefährdung durch UV-Strahlung (ICNIRP-ACGIH-Funktion)

Die spektrale Funktion der akuten gesundheitsschädigenden Wirkung der UV-Strahlung (häufig auch ICNIRP-ACGIH-Funktion genannt) wurde von der International Commission on Non Ionising Radiation Protection (ICNIRP) ausgearbeitet und ist im Bild 6 abgebildet.

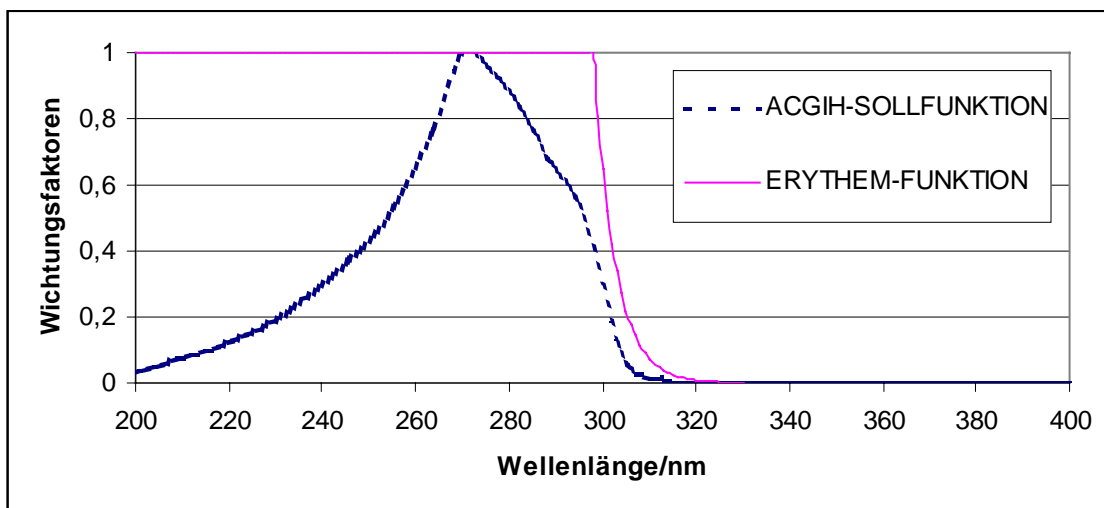


Bild 6: Die spektrale Verteilung der ACGIH und ERYTHEM Funktionen

Danach ist an einem Arbeitstag für die Haut im Wellenlängenbereich von (180nm) 200 nm bis 400 nm eine wirksame Bestrahlung bis 30 J/m^2 noch zulässig. Für das Auge sollte sowohl die wirksame Bestrahlung im Wellenlängenbereich (180nm) 200nm - 400nm an einem Arbeitstag den Schwellenwert von 30 J/m^2 als auch für den Wellenlängenbereich 315nm - 400nm (UVA Bereich) 10 KJ/m^2 nicht über-

schreiten. Diese Funktion und Grenzwerte gelten nur für Expositionen durch künstliche UV-Strahlungsquellen am Arbeitsplatz. Zur Minimierung der langfristigen Schädigungen an den Arbeitsplätzen im Innenraumbereich sollte ein Jahresgrenzwert eingeführt werden. Ein Wert von etwa 4000 - 6000J/m² könnte relevant sein.

Betrachtet man den spektralen Verlauf dieser Funktion, stellt man fest, daß die spektrale Wirksamkeit im UVC und UVB Bereich sehr hoch ist und drastisch im UVA Bereich abnimmt. Das hat den folgenden Grund, da diese Funktion ursprünglich aus der spektralen Funktion der UV-Hautrötung (Erythem,) und der Funktion der Photokeratitis (Hornhautentzündung) gebildet wurde. Für den Bereich 315nm-400nm ist die zu bewertende UVA Funktion eine Rechteckfunktion mit dem folgenden spektralen Verlauf:

- 0 für Wellenlängen kleiner als 315nm
- konstant für Wellenlängen zwischen 315nm und 400nm
- 0 für Wellenlängen größer als 400nm

Es gilt demzufolge für die Beurteilung der UV-Expositionsbedingung am Arbeitsplatz, die ICNIRP-ACGIH effektive Bestrahlungsstärke und die UVA Bestrahlungsstärke zu messen.

5.2.2 Photochemische und thermische Netzhautgefährdungen

Die optische Strahlung zwischen 380nm und 1400nm kann die Netzhaut erreichen und unter Umständen photochemische und thermische Netzhautschädigungen hervorrufen.

Photochemische Reaktionen finden statt, wenn die Photonenenergie der Strahlung zwischen 380nm und 700nm ausreicht, um photoinstabile Moleküle in ein oder mehrere verschiedene Moleküle chemisch umwandeln zu können. Diese Blaulicht Funktion ist im Bild 7 abgebildet. Folgende Grenzwerte sind von ICNIRP 1997 festgelegt(L_{BLH} = effektive Strahldichte, t = Bestrahlungsdauer):

$$L_{BLH} \cdot t \leq 100 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{sr}^1 \text{ für } t \leq 10.000 \text{ s und } L_{BLH} \leq 10 \text{ mW/cm}^2 \cdot \text{sr}^1 \text{ für } t > 10.000 \text{ s}$$

Die Blue-Light-Hazard-Funktion gilt in der Regel für den Fall, daß die Expositionsdauer mehr als 10s beträgt. Die Thematik Blaulichtschädigung ist noch relativ neu und wird noch separat in einer anderen Publikation /62/ ausführlicher behandelt. Unterhalb 10 s dominiert die thermische Netzhautschädigung die in den Normen im Abschnitt 5.3.1 und in /62/ beschrieben wird.

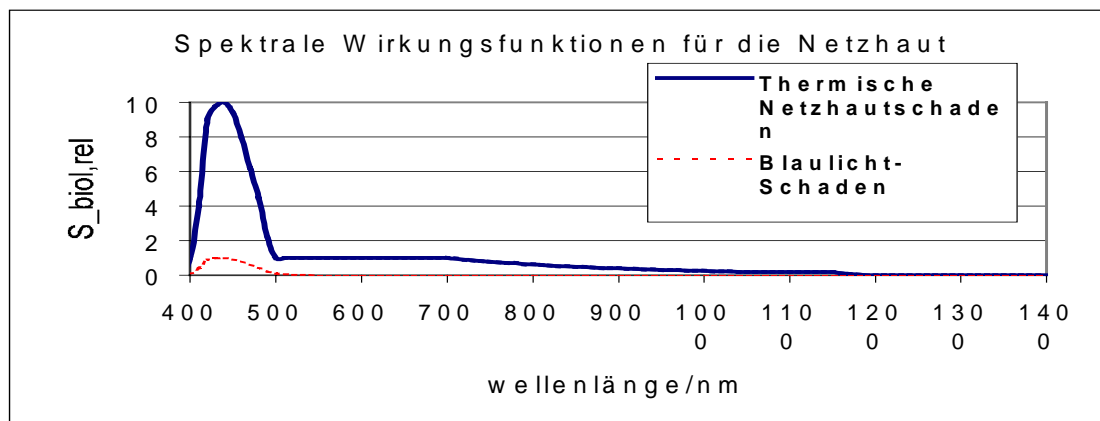


Bild 7: Spektrale Wirkungsfunktionen für die Netzhautschädigung

Für Untersuchung der Langzeitwirkung von UV-Strahlung auf die Haut wird häufig die UV-Erythem-Funktion (Hautrötung) (s.Abb.6) angewendet (s. auch Abs. 5.3.3). Für die Untersuchung der Langzeitwirkung der UV und IR Strahlung aufs Auge (Kataraktbildung, Augenlinsentrübung) gibt es z.Zt. keine Wirkungsfunktionen und auch keine verlässliche Dosis-Wirkungs-Beziehung, die auf die Trübung des menschlichen Auges zutrifft.

5.3 Festlegungen in nationalen und internationalen Richtlinien

5.3.1 Richtlinien mit vorwiegendem Empfehlungscharakter zur strahlenschutztechnischen Arbeitsplatzgestaltung

Es sind z.Zt. international einige Richtlinien, Normen und technische Berichte ausgearbeitet. Einige wurden bereits verabschiedet, einige sind in der Entwurfsphase. Folgende Arbeiten sind als bedeutsam angesehen /53/:

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposures Indices, Cincinnati, 1995
- IRPA/ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (1985 & 1989)
- Duchene, A.S. et al. (1991): IRPA Guidelines on protection against nonionizing radiation, Pergamon Press New York
- ICNIRP: Guidelines of limits of exposure to broadband incoherent optical Radiation (0,38µm to 3 µm) (September 1997)
- IEC 608259: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation
- prEN 121981: Strahlung an Maschinen

Die meisten Richtlinien haben nur Empfehlungscharakter. Dennoch geben sie die wissenschaftlich begründeten Wirkungsfunktionen und Grenzwerte sowie einige Hinweise zum Umgang mit der optischen Strahlung vor. Solche Arbeitspapiere sind Grundlagen zur Ausarbeitung verbindlicher Regelungen. Aufgrund der Komplexität der Thematik wurde bislang die Strahlungsmeßtechnik in diesen Richtlinien nur sehr kurz beschrieben. Auch darin sind keine konkrete Meßvorschriften zur praktischen Umsetzung erarbeitet.

In Amerika existieren bereits einige Empfehlungen, die Lampen und Lampensysteme (Leuchten) mittels eines festen Auswertungsalgorithmus nach photobiologischen Gefährdungsgruppen klassifizieren. Das sind die Normen der Reihe ANSI/IESNA RP27.1, .2, .3 : Photobiological Safety for Lamps & Lamp Systems, Risk Group Classification and Labeling (1996).

Der Inhalt dieser Normen ist zum großen Teil dem der ICNIRP Arbeiten identisch. Vorteilhaft bei diesen Normen ist es, daß sie nicht nur die Thematik allgemein beschreiben, sondern den Lampen- und Leuchtenherstellern mit gezielten Anleitungen vorgeben, wie lichttechnische Produkte je nach Gefährdungsgruppe in den Katalogen und Verpackungszetteln deklariert werden sollen. Nach einer bestimmten Versuchsphase sollten diese Richtlinien auch von deutschen Lampenherstellern übernommen werden.

5.3.2 Zu der neuen geplanten Unfallverhütungsvorschrift „Inkohärente optische Strahlung“ in Deutschland

Ende 1996 empfahl die Studie „Normung im Bereich der nichtionisierenden Strahlung“ der Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) /54/, daß die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung eine Unfallverhütungsvorschrift zum Schutz vor inkohärenter optischer Strahlung erarbeiten sollen. Die Gründe dafür waren einerseits das bisherige Fehlen konkreter verbindlicher Festlegungen von Grenzwerten und Schutzmaßnahmen für inkohärente optische Strahlung im berufsgenossenschaftlichen Regelwerk, andererseits aber die stark zunehmende Anzahl der Arbeitsplätze, die sich mit der optischen Strahlung beschäftigen. Im Mai 1997 begann die Arbeit zur Ausarbeitung der Unfallverhütungsvorschrift, die folgende Ziele anstreben soll /55/:

- Der Schutz von Versicherten vor schädlichen gesundheitlichen Einwirkungen inkohärenter Strahlung wird gewährleistet
- Eine Grundlage für die Gefährdungsanalyse bei Arbeiten mit optischer Strahlung wird erstellt
- Grenzwerte, Bestrahlungsbedingungen und Schutzmaßnahmen werden festgelegt
- Präventiven Maßnahmen im Gesundheitsschutz (z.B. Vorsorgeuntersuchungen...) und Rechtssicherheit bei der Bewertung von Arbeitsplätzen werden festgelegt
- Unter Berücksichtigung der Hautkrebzunahme sind eindeutige Kriterien zwischen beruflicher und privater Strahlungswirkung zu erarbeiten

Durch viele intensive Beratungen der Mitglieder der auszuarbeitenden Arbeitsgruppe in den letzten drei Jahre ist ein Vorentwurf entwickelt, mit folgenden Hauptinhalten /55/:

- Die Unfallverhütungsvorschrift (UVV) gilt für die Arbeitnehmer und Unternehmer in den Betrieben, in den mit der inkohärenten optische Strahlung mit Wellenlängen von 100 nm bis 1mm gearbeitet wird. Auch die Strahlung von lichtemittierenden Dioden (LED) fällt in den Geltungsbereich. Die Strahlungsgrenzwerte gelten damit nur für den beruflichen und nicht für den privaten Bereich. Es wird darin hinsichtlich der Gefährdungsermittlung und Beurteilung zwischen Arbeitsplätzen mit den künstlichen optischen Strahlungsquellen und Arbeitsplätzen im Freien unterschieden. Die Regelungen zum Schutz vor der Sonnenstrahlung werden in dieser UVV gesondert in einem Abschnitt behandelt.
- Der Unternehmer hat das Ausmaß der Gefährdung der inkohärenten Strahlung zu ermitteln und zu beurteilen, gegebenenfalls durch Zuhilfenahme von Sachverständigen. Er muß die Schutzmaßnahmen vornehmen und die Versicherten unterweisen. Dabei kann er sich auf eine Reihe von Normen stützen. Er soll auch arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen der Versicherten ermöglichen.
- Für die Arbeitsplätze im Freien sind die Grundlagen der Gefährdungsermittlung der vorhergesagte UV-Index, der durch die Presse täglich bekannt wird sowie auch UV-Meßgeräte, so bald sie genau genug und preislich erschwinglich sind.
- Die Strahlungsgrenzwerte sind die gleichen wie in den Richtlinien im Abs. 5.3.1. Die Gerätehersteller haben im Rahmen ihrer Verpflichtungen gemäß dem Gerätesicherheitsgesetz die Expositionswerte zu ermitteln und in den Produktunterlagen anzugeben.

Es wird mit einer endgültigen Inkraftsetzung der Unfallverhütungsvorschrift vor Ende 2001 /55/ gerechnet. Deutschland übernimmt damit eine Vorreiterrolle in der Ausarbeitung der verbindlichen Richtlinien auf dem Gebiet des Strahlenschutzes. Es gilt danach, auch in Europa ähnliche Richtlinien zu verabschieden.

5.3.3 Aspekte zu langjährigen UV-Strahlungswirkungen auf die Haut - Hautkrebsvorbeugung

Chronische Wirkungen auf die Haut, speziell ein erhöhtes Hautkrebsrisiko, werden über die Wirkungskurve des UV-Erythems abgeschätzt /8/, /52/. Mitteleuropäer sind einer natürlichen UV-Strahlenbelastung zwischen 100 MED/Jahr und 300 MED/Jahr ausgesetzt, wobei 1 MED die minimale erythemale Dosis (gewichtete Strahlendosis, die bei heller empfindlicher Haut gerade noch eine Rötung hervorruft) ist und mit 250 J/m^2 angesetzt wird.

Eine zusätzliche jährliche Belastung von 75 MED bis 100 MED läßt nach 30 Jahren eine Zunahme der Hautkrebsinzidenzrate um ca. 5% erwarten. Dieser Wert wird als Toleranzgrenze akzeptiert. In einer Pressemitteilung des BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) wurde vor Jahren bereits darauf hingewiesen, daß kritische Werte bei einer Reihe von Schreibtischleuchten ohne Glasabdeckung in weniger als 2 Stunden erreicht werden, bei 50 W Stiftsockellampen ohne Schutzglas nach 0,8 Stunden.

Es kann abgeleitet werden, daß bei Halogenlampen mit Schutzglas und einer Leistungsaufnahme bis zu 50 W der 8StundenGrenzwert und die Toleranzgrenze bezüglich des Hautkrebsrisikos bei gebräuchlichen Abständen (ab 30 cm) sicher eingehalten wird.

Vor dem Hintergrund, Strahlungsrisiken frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und Schutzmaßnahmen zu empfehlen, präzisierte das BfS seine Empfehlungen dahingehend, bei der Neuanschaffung nur Halogenlampen mit Schutzglas zu verwenden. Bereits vorhandene Halogenlampen ohne Schutzglas sollten nur noch für indirekte Beleuchtungszwecke bzw. bei direkter Beleuchtung nur bei hinreichend großen Abständen verwendet werden. Auf diese Weise ist nach den Untersuchungsergebnissen sichergestellt, daß der UV-Strahlungsanteil unterhalb der empfohlenen Grenze bleibt und das Hautkrebsrisiko tolerierte Werte nicht überschreitet.

Zum Verhalten in der Sonne empfiehlt die Strahlenschutzkommission:

- Haut langsam an Sonnenbestrahlung gewöhnen
- Sonnenschutzmittel verwenden (kein Freibrief für exzessive Besonnung!)
- Parfüms, Deodorants, Kosmetika vermeiden
- Medikamente: Arzt befragen (Photosensibilisierung)
- Die Zahl der "Sonnenbäder" soll etwa 50 pro Jahr nicht überschreiten

- (stets Sonnenbrand vermeiden)
- Lichtgewöhnung unter ärztlicher Beratung

5.4 Hinweise zur Strahlungsakkumulation im Leben

Es gilt als gesichert, daß die photobiologisch wirksamen Bestrahlungsdosen, die im Laufe eines Arbeitslebens kumulieren, in Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen um Größenordnungen geringer sind als unter natürlicher Sonneneinstrahlung. Festzustehen scheint bis jetzt lediglich, daß die folgenden vier Faktoren das Risiko der Melanombildung erhöhen:

- Sonnenbestrahlung (Gesamtdosis)
- mangelnde Fähigkeit zur Hautbräunung
- Beschäftigung in Innenräumen und häufige exzessive Sonnenbäder
- helle Augenfarbe

Unter diesen Gesichtspunkten sollte auch die Benutzung von Solarien eingeordnet werden. Der lebenslangen Kumulation der Bestrahlungsdosen natürlichen und künstlichen Ursprungs sollte immer wieder Beachtung geschenkt werden.

6 Meßtechnische Konsequenzen- Meßgerätentwicklungsergebnisse der letzten Zeit

6.1 Grundüberlegungen

Die Anwendung der optisch inkohärenten Strahlung, insbesondere der ultravioletten Strahlung hat in der letzten Zeit in vielen Bereichen der Forschung, in der Medizin, in der Kosmetik und besonders in industriellen Anwendungen zugenommen. Einige Beispiele der beabsichtigten Anwendungen der optischen Strahlung in der Industrie sind UV-Härtungsanlagen in der Lack, Farben, Druck und Verpackungsindustrie, die Entkeimungsanlagen in der Wasserwirtschaft, in der Lebensmittelindustrie und im Krankenhauswesen usw.. Die Liste der Strahlungsanwendungen ist lang. Bei allen positiven Wirkungen könnte es unter Umständen zu optischen Strahlenschäden bei den Menschen führen, die mittelbar oder unmittelbar mit der optischen Strahlung in Kontakt kommen, wenn vorgegebene Expositionsgrenzwerte überschritten werden.

Diese Thematik zwingt uns dazu, uns mit der Wirkung der optischen Strahlung, insbesondere auf den Menschen, umfassender zu befassen, die Grundlagen und die Verhaltensweisen beim Umgang mit optischer Strahlung in Form von Regelwerken festzulegen und uns fundierter mit der Strahlungsmeßtechnik auseinanderzusetzen. Für jeden, der sich damit beschäftigt, sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- 1) Welche relevanten optischen Meßgrößen sind für strahlenschutztechnische Beschreibungen notwendig ?
- 2) Welche optischen Schäden können am Menschen verursacht werden?
- 3) Welche internationalen und nationalen Regelungen sind konsultativ und welche zwingend notwendig anzuwenden?
- 4) Welche Meßverfahren können zur meßtechnischen Beurteilung der Expositionsbedingung angewendet werden und welche konkreten Vor- und Nachteile haben sie?
- 5) Welche Meßgeräte sind auf dem Markt vorhanden? Wie kann man sie sinnvoll anwenden und welche Genauigkeit kann man von solchen Meßgeräten erwarten? Reicht diese Meßgenauigkeit aus, um konkrete auswertbare Resultate erzielen zu können?
- 6) Welche praktischen Schritte, Reihenfolgen und Strategien sind in der Meßpraxis notwendig? Was gehört zu einem aussagekräftigen Meßprotokoll? Gibt es bereits Erfahrungen, die übernommen werden können.
- 7) Welche Schutzmaßnahmen sollen eingeleitet werden? Sollen Nachmessungen durchgeführt werden?

Während die Fragen 1) bis 3) im Abschnitt 5 bereits beantwortet wurden, wird der vorliegende Abschnitt versuchen, Antworten auf die Fragen 4), 5) und 6) zu geben. Die Beantwortung der Fragen 6) und 7) kann man in den jüngsten Arbeiten von P. Knuschke et al. /56/ und von H.U. Heidrich /57/ finden. Dazu gibt es auch eine umfassende Publikation /58/.

Die in den Regelungen vorgegebenen Expositionsgrenzwerte sind nur durchsetzbar, wenn zuverlässige und genügend genaue Meßwerte vorliegen, die auf den definierten Arbeitsplätzen ermittelt werden und

mit denen man die Grenzwerte vergleichen kann, um daraus organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen einzuleiten und aufrechtzuerhalten. Bei Unterschreitung der Grenzwerte kann davon ausgegangen werden, daß die akute Schädigung vermieden und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens chronischer Schädigungen minimiert werden können.

Grundsätzlich werden Messungen durch die Strahlenschutzbeauftragten und Arbeitsschutztechniker der einzelnen Betriebe und Forschungseinrichtungen, durch technische Aufsichtsdienste der entsprechenden Berufsgenossenschaften oder Landesanstalten für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sowie Strahlenschutzbegutachter durchgeführt. Die Messungen sollen an denjenigen Plätzen stattfinden, wo Beschäftigte aus technologischen Gründen häufig mit Strahlungsquellen direkt arbeiten oder sich oft in ihrer Nähe aufhalten müssen.

Bei Beschäftigten, die innerhalb der vereinbarten Arbeitszeit mehrere Tätigkeiten ausüben sollen und mehrere Aufenthaltsorte mit unterschiedlichen Bestrahlungsbedingungen haben, ist es schwieriger, aus Meßwerten, die an jedem Arbeitsplatz ermittelt werden, die richtige Tagesdosis zu berechnen, da die Aufenthaltsdauer an jedem Platz schwer auszurechnen ist und die Strahlungsrichtung jeweils sehr unterschiedlich sein kann. Mit konventionellen schwer tragbaren Meßgeräten ist es relativ aufwendig, solche Meßaufgaben zu lösen. Für solche Fälle braucht man leistungsfähige, kleine Meßgeräte mit der Dosismessmöglichkeit über lange Zeit (sogenannte Personendosimeter), die der Beschäftigte tagsüber bequem tragen kann, um die Tagesdosis zu ermitteln. Es ist außerdem ohnehin interessant zu wissen, welche Körperteile (Gesicht, Schulter oder Rücken...) z.B. in einer Schweißkabine am meisten von der optischen Strahlung betroffen sind. Solche Personendosimeter sind auch zwingend notwendig, wenn die Arbeitsmediziner, Sicherheitsingenieure und Begutachter chronische Berufskrankheiten meßtechnisch und juristisch analysieren müssen, wobei diese Krankheiten ein Ergebnis langjähriger Bestrahlungen sind. Für epidemiologische Studien ist es sicherlich von großem Vorteil, nicht nur die Dosis zu ermitteln, die die Beschäftigten während der Arbeitszeit erhalten, sondern auch die Dosis in der Freizeit, um typische Ursachen der heutzutage zunehmenden und besorgniserregenden Hautkrebsfälle in Abhängigkeit von den Berufsgruppen und von Arten der Freizeitaktivitäten zu bestimmen.

6.2 Meßverfahren

Für die Ermittlung der strahlenschutzrelevanten Meßgrößen gibt es grundsätzlich zwei Meßverfahren, die in den Literaturen /53, 58, 59,60/ detailliert dargestellt wurden. Diese zwei Meßverfahren sind:

Spektralverfahren: Messung der spektralen Dichte der zu bewertenden Größe, z.B. der spektralen Bestrahlungsstärke $E_{\lambda}(\lambda)$ bzw. der spektralen Strahldichte $L_{\lambda}(\lambda)$ mit einem absolut kalibrierten Spektroradiometer und mit geeigneten Eingangsoptiken und anschließende Bewertung mit der betrachteten spektralen Wirkungsfunktion (z.B. mit der Erythemfunktion...) und numerische Integration über den definierten Wellenlängenbereich nach den Gl. (1) und (2). Diese Bewertung und numerische Integration werden in der heutigen Zeit von leistungsfähigen Rechnern übernommen. Für eine breite Anwendung in der betrieblichen Arbeitsschutzpraxis ist ein gutes Spektroradiometer zu teuer und seine Anwendung ist häufig mit hohen organisatorischen, technischen und personellen Problemen verbunden. Daher sind generell Meßgeräte nach dem Integralverfahren vorzuziehen. Physikalische Grundlagen zum Spektralverfahren können in /61/ gelesen werden.

Integralverfahren: Verwendung eines Empfängers, dessen relative spektrale Empfindlichkeit der zu betrachtenden spektralen Wirkungsfunktion angepaßt ist /53/.

Ein Meßgerät nach dem Integralverfahren besteht generell aus 2 Komponenten:

- 1) Meßkopf mit entsprechender Eingangsoptik
- 2) Meßgerät zur direkten Anzeige der Strahldichte, Bestrahlungsstärke und Dosis.

Der prinzipielle Aufbau eines Meßkopfes zur Bestrahlungsstärkemessung setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen (Bild 8):

- Einem speziell entwickelten UV-cos-Vorsatz für eine gute räumliche Bewertung der einfallenden Strahlung nach dem cos-Gesetz. Die f_2 Kenngröße ist kleiner als 5%.

- Einem gut optimierten optischer Filtersatz. Er sorgt mit dem Halbleitersensor und der Transmissionseigenschaft des Diffusors für eine gute spektrale Anpassung an die Zielfunktion.

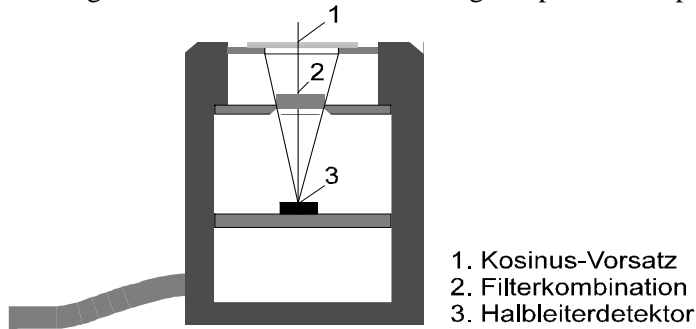


Bild 8 : Der optische Aufbau eines Bestrahlungsstärkemeßempfängers

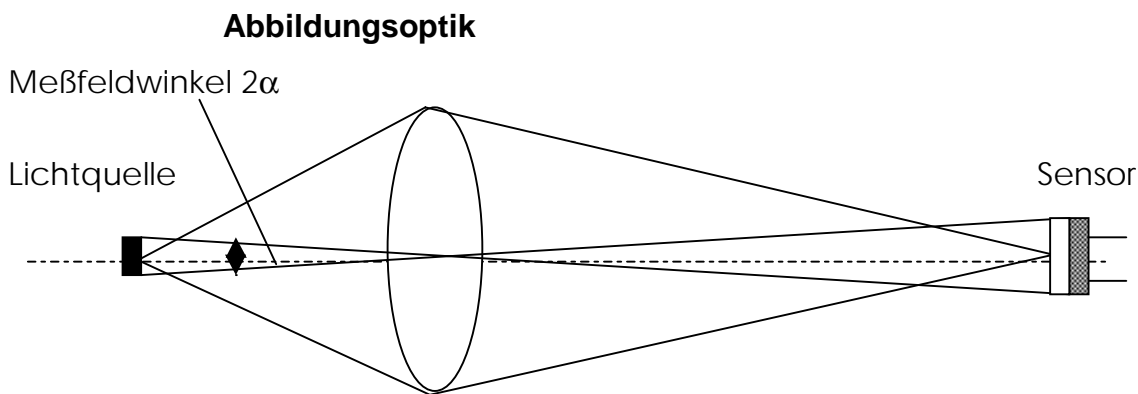


Bild 9: Der optische Aufbau eines Strahldichtemeßgeräts

Der prinzipielle Aufbau eines Meßgeräts zur Strahldichtemessung setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen /53/ (Bild 9):

- Einer abbildungsfehlerarmen Linsenoptik, die die Strahlungsquelle auf die effektive Detektorfläche abbildet, die dem für die Messung notwendigen Meßfeldwinkel entspricht. Da die meisten Strahlungsquellen für die Messungen aus Platzgründen nur aus relativ großen Abständen anvisiert werden können, ist eine scharfe Fokussierung durch die Abbildungsoptik notwendig.
- Einem gut optimierten optischer Filtersatz, der zusammen mit dem Halbleitersensor und der Transmissionseigenschaft der Linsenoptik für eine gute spektrale Anpassung an die Zielfunktion sorgt.

In den letzten Jahren wurden, angesichts der Zunahme des Bedarfs an guten Meßgeräten für strahlenschutztechnische Meßzwecke, einige Meßgeräte entwickelt und gebaut. Zur Messung der wirksamen Bestrahlungsstärke sind es die UVA-Meßgeräte (s. Bild 10), die s.g. ICNIRP-ACGIH-Meßgeräte zur Beurteilung der Gesamtgefährdung durch UV-Strahlung am Arbeitsplatz (s. Bild 11), Meßgeräte für die UV-Hautrötung (Erythemmeßgerät) und zwei Typen von Personendosimetern mit jeweils 2 Empfängern für UVA und ICNIRP-ACGIH-Funktionen bzw. für die Erythem-Funktion und für die Funktion der direkten Pigmentierung (s. Bild 12) der Haut. Mit diesen Meßgeräten können die Expositionswerte am Arbeitsplatz im Innen- und Außenbereich sowie in den Solarien genau gemessen werden.

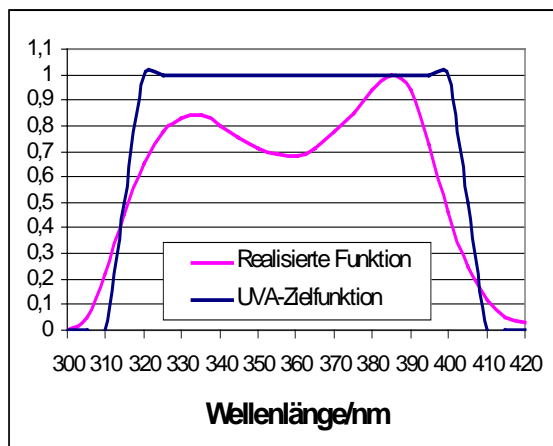


Bild 10: UVA-Messdetektor

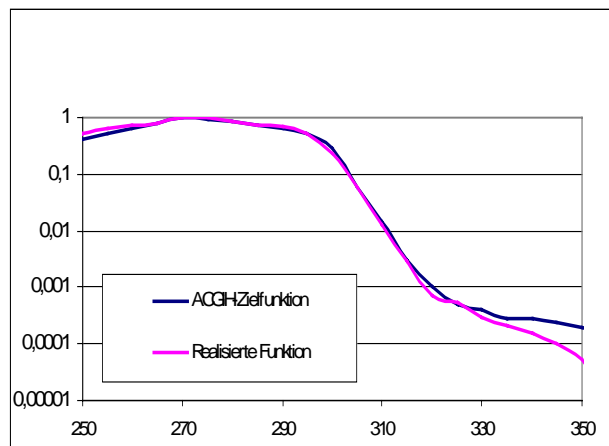


Bild 11: Messdetektor für ACGIHFunktion

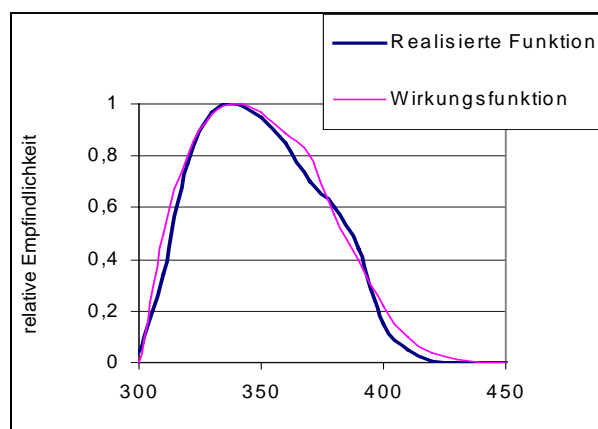


Bild 12: Detektor für die direkte Pigmentierung

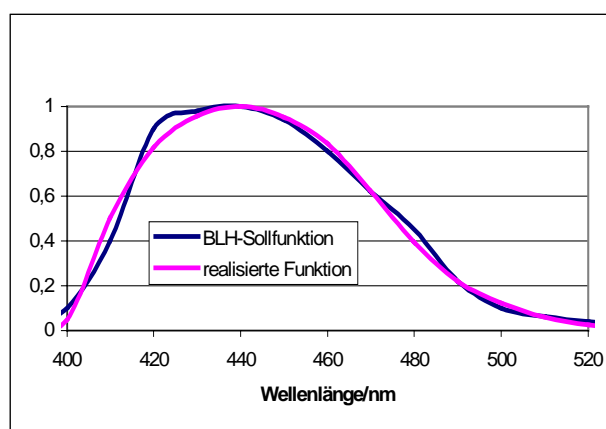


Bild 13: BLH-Messdetektor

Für die Erfassung der auf der Netzhaut wirksamen Strahldichten wurden in den letzten 2 Jahren Meßgeräte entwickelt für die Blaulicht-Bestrahlungsstärke und die Blaulicht-Strahldichte (s. Bild 13) sowie Strahldichtemeßgeräte für die thermische Netzhautschädigung. Die umfangreichen Entwicklungsergebnisse und Genauigkeitsanalysen dazu werden in /62/ demnächst berichtet.

6.3 Aussagen zu der Meßunsicherheit der entwickelten Meßgeräte

Meßgeräte mit dem Integralverfahren können auf die Meßgenauigkeit hin überprüft werden, indem die Meßergebnisse dieser Geräte mit den Meßergebnissen von einem gut qualifizierten Spektroradiometer verglichen werden. Als Meßobjekte werden Lampen verwendet, die häufig im Industriebereich und in der Unterhaltungsbranche eingesetzt werden /53/.

Die getesteten UVA bzw. Blue-Light-Hazard-Meßgeräte zeigten generell eine Meßabweichung von maximal $\pm 8\%$ bzw. $\pm 6\%$ für bisher in Betracht bezogene Lampentypen. Mit ACGIH-Meßgeräten wurde eine Meßabweichung von max. $\pm 13\%$ für Lampen, die sowohl UVCB als auch UVA-Strahlung haben und max. $\pm 30\%$ für Lampen, die zum größten Teil UVA-Strahlung liefern. Diese oben gemachten Angaben erscheinen für diejenigen, die mit der Thematik wenig vertraut sind, eventuell als viel zu groß. Dennoch stellen diese den neuesten Stand der Technik dar. Dazu muß noch berücksichtigt werden, daß die genannten Abweichungen auch von Meßunsicherheit der als Vergleich eingesetzten Spektroradiometer mitbeeinflusst werden können. Die Meßunsicherheit der besten Spektroradiometer im UVB- und UVC-Bereich ist, nach vielen internationalen sorgfältig durchgeführten Vergleichsmessungen, nicht besser als $\pm 10\%$.

Für praktische Strahlenschutzmessungen an den industriellen und ähnlichen Arbeitsplätzen sind die Meßunsicherheiten, die seriös ermittelt werden und für den UV-Bereich zwischen $\pm 20\%$ und $\pm 30\%$ liegen, als genau genug anzusehen. Für genaue wissenschaftliche Forschungsarbeiten zur Ermittlung der Ursachen-Wirkungs-Beziehung sind Meßgenauigkeiten für den UV-Bereich von $\pm 12\%$ - $\pm 15\%$ und für den visuellen Bereich von $\pm 5\%$ - $\pm 10\%$ anstrebenswert.

7 Ausblick auf mögliche Forschungsvorhaben

7.1 Notwendigkeit interdisziplinärer Forschungsarbeiten

Die total veränderte Arbeitswelt, das sich progressiv entwickelnde Freizeitverhalten und die damit verbundenen sozialen Verhaltensweisen und das höher werdende Alter der Menschen führen zu immer häufiger auftretenden Volkskrankheiten wie beispielsweise Depressionen, Oestoporose, Alzheimer, Parkinson. Da die Ursachen dieser Erkrankungen nur teilweise geklärt sind, besteht ein enormer Forschungsbedarf. Der große Einfluß der optischen Strahlung auf das Leben, insbesondere auf das menschliche Leben (Gesundheit und Wohlbefinden), ist auf Spezialgebieten sehr gründlich seit den 70er Jahren unseres Jahrhunderts erforscht und bekannt. Der Gesunderhaltung des Menschen in diesem Jahrtausend muß mehr Beachtung geschenkt werden. Es war eine einseitige Entwicklung in der Lichttechnik, bei fast allen wissenschaftlichen Untersuchungen im Vordergrund nur die Erkennbarkeit von Sehobjekten und Gegenständen und das Wohlbefinden bei der künstlichen Beleuchtung zu sehen. Fakt ist, daß der Strahlungsbedarf der Menschen nicht richtig eingeschätzt wurde. Die Forschungsergebnisse in Medizin und Biologie, die bereits in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts vorlagen, wurden von den meisten Lichttechnikern und Architekten nicht wahrgenommen. Es gab wenige interdisziplinäre Arbeiten. Das allseits veränderte Leben der Menschen, wie bereits beschrieben, hat sie nicht nur neu erörterungsnotwendig gemacht, sondern es ist auch ein Bedarf nach neuen Untersuchungen mit neuen wissenschaftlichen Fragestellungen erforderlich.

Die Licht- und Strahlungstechniker, aber auch die Architekten müssen ihre vordergründige Aufgabe in der Entwicklung und Realisierung gesundheitsfördernder künstlicher Beleuchtung sehen. Der Einsatz von Sonnen und Tageslicht muß wegen seiner lebensfreundlichen und gesundheitsfördernden Wirkungen weiter stärker berücksichtigt werden.

7.2 Verfahrensweisen und Zielstellungen

Zur weiteren Erforschung, welche konkreten Einflüsse die optische Strahlung auf Leben und Gesundheit der Menschen hat, müssen zwei grundsätzliche Richtungen eingeschlagen werden. Dabei versteht sich als selbstverständlich, daß die Arbeiten nur interdisziplinär angelegt werden können.

Die eine Richtung muß die Wechselwirkung optische Strahlung - menschliche Zellen mit all ihren anderen Umweltbedingungen besser erforschen. Auf dieser Teilstrecke ist es notwendig, daß Biologen, Biochemiker, Biophysiker und Mediziner interdisziplinär zusammenarbeiten. Die andere Richtung muß die Wechselwirkung optische Strahlung-Mensch als Ganzes bis auf die Organebene mit all den heutigen und möglicherweise zukünftigen Umweltbedingungen neu untersuchen. Auf dieser Forschungsstrecke müssen Techniker, Physiker, Biochemiker und Mediziner zusammenarbeiten.

Diese beiden Standbeine künftiger Forschung und Entwicklung sind sehr umfangreich und langfristig anzulegen. Die Praxis wird so aussehen, daß auf Grund der immer geringer werdenden finanziellen Möglichkeiten nur Teilaufgaben bearbeitet werden können.

Deshalb sollte der bereits vorhandene Wissensschatz zu Fragen der Wechselwirkungen zwischen optischer Strahlung und lebender Materie kritisch gesichtet und sofort für zukünftige Entwicklungen in der Licht- und Beleuchtungstechnik aber auch in den vielfältigen Strahlungsanwendungen besser genutzt und eingesetzt werden.

7.3 Anstehende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Hauptziele künftiger Arbeiten soll die Untersuchung der Wirkung optischer Strahlung auf Leben und Gesundheit der Menschen sein. Von den vielen Möglichkeiten der Forschungsschwerpunkte müssen einige sofort angegangen werden. Die Einflüsse der Lichtfarben und der spektralen Strahlungsverteilung der Beleuchtungsanlagen auf das Wohlbefinden und Arbeitsproduktivität der Menschen sollen in den nächsten Jahren mittels genauer und handlicher Farbmeßgeräte systematisch ermittelt werden. Einige erste konkrete Fragestellungen sind in /1/ enthalten. Nach /63/ und /53/ scheinen außerdem noch folgende Forschungsaufgaben notwendig zu sein:

- Die Bestimmung der Schwellenwerte für die Schädigungen durch Langzeitwirkungen durch optische Strahlung. Für eine Hautkrebsinduzierung ist eine zuverlässige Dosis-Wirkungsbeziehung noch nicht bekannt. Die gleiche Aussage gilt auch für die Linsentrübung, die durch die ultraviolette und infrarote Strahlung erzeugt werden kann. Dazu sind geeignete Personendosimeter mit guter Qualität und leichter Bedienbarkeit zu verwenden.
- Verbesserung und genaue Festlegung der Methoden zur Ermittlung der Wirkungsspektren und

Schwellenwerte bei dem in Betracht kommenden Wirkungsspektrum und detaillierte Formulierung der Bedingungen, unten den die jeweiligen Wirkungsspektren meßtechnisch gewonnen wurden.

- Ausarbeitung einer praxisnahen Meßvorschrift zur Umsetzung der verabschiedeten Richtlinien. Diese Schritte unterstützen die Anwender bei der Analyse der tatsächlichen Expositionsgefahren. Konkrete Vorschläge zur Durchführung der Messungen in der Praxis waren bereits gemacht und in /58/ veröffentlicht.

8 Literatur

- /1/ Fisch, J.
Licht und Gesundheit – Das Leben mit optischer Strahlung
Literaturrecherche, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, März 2000
- /2/ Herbst, C.
Der Einfluß des Lichtes auf den arbeitenden Menschen
Elektrizität 11, (1968), S. 284 – 300
- /3/ Steck, B.
Die Einwirkung der optischen Strahlung (Licht, UV und IR) auf den Organismus des Menschen
Abhandlungen der OSRAMGesellschaft 11, (1972), S. 416 – 428
- /4/ Steck, B.
Über photobiologische und psychophysische Gesichtspunkte für Beleuchtungsanlagen und Solarien
Dissertation TU Berlin, (1975)
- /5/ Doman, U.
Light, workplace and productivity
Dissertation, University of Reading, Department of Construction Management, (1999)
- /6/ Grothmann, K.
Messung und Bewertung optischer Strahlung in der Phototherapie
Dissertation, TH Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, (1998)
- /7/ Vandahl, C.
Zur Festlegung von Güteigenschaften der Einzelplatzbeleuchtung
Dissertation, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, (1999)
- /8/ Autorenkollektiv
Handbuch „Nichtionisierende Strahlung“
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, (1999)
- /9/ Rosenthal, N., Kasper, S.
Lichttherapie
HeyneVerlag München, (1993)
- /10/ Zulley, I., WirzJustice, A., Volker, D., Grath, P., Haug, H.J., Kräuchi, K., Leonhardt, G., Lam, R., Lotze, M., Ruhrmann, St., Terman, M., Zimmer, D.
Lichttherapie
Roderer Verlag, Regensburg, (1997)
- /11/ Cakir, A., Cakir, G.
Licht und Gesundheit
Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros, Berlin, (1998)
- /12/ Hollwich, F., Dieckhues, B.
Die Wirkung von Tages und Kunstlicht auf den tierischen und menschlichen Organismus
Fortschr. Med. 90, (1972), S. 25 – 28
- /13/ Loef, C.
Fensterlose Bauden als menschliches und technisches Problem
Industrie, Elektrik und Elektronik 17, 22, (1972)
- /14/ Collins, B.
Windows and people. A literature survey.
Psychological reactions to environments with and without windows
National Bureau of Standards Building Science Series No. 70, Washington, D. C.
Inst. for Applied Technology, (1975)
- /15/ Küller, R., Lindsten, C.
Health and behavior of children in classrooms with and without windows
Journal of Environmental Psychology 12, (1992), S. 305 – 317
- /16/ WirzJustice, A., McGraw, K., Kräuchi, K., Pöldinger, S.
Phototherapie in Switzerland: “Mehr Licht”

- /17/ Saller, R.
Vitamin D, UV-Biologie und Heliotherapie
Hippokrates Verlag GmbH Stuttgart, (1992), S. 33 – 47
- /18/ Kramer, H.
Diskussion über Lichtqualität
Veröffentlichung in Vorbereitung
- /19/ Gall, D., Vandahl, C., Jordanow, W., Jordanowa, S.
Tageslicht und künstliche Beleuchtung – Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Fb 882,
Dortmund/Berlin, (2000)
- /20/ Völker, St.
Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveaus
Dissertation, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, (1998)
- /21/ Ritter, J.
Versuche über das Sonnenlicht
Gilberts Annalen, Halle, (1803), S. 409 – 415
- /22/ Riemann, M., Fisch, J., Schulze, P., Kost, H.R., Link, G.
Transmissionsmessungen bei ultraviolett bestrahltem Venenblut
Dt. Gesundheitswesen 38, (1983), S. 2061 – 2062
- /23/ Schubert, v., E.
Das Blut als Angriffsfläche der ultravioletten Strahlen
Dt. Med. Wschr. 52, (1926), S. 903 – 906
- /24/ Kollath, W., Suhrmann, R.
Qualitative Messungen in sichtbaren und ultravioletten Absorptionsspektren des Blutes und seiner Bestandteile
Biochem. Z. 184, (1927), S. 217 – 223
- /25/ Autorenkollektiv Lichttherapie
Neue Ergebnisse zu Grundlagen klinischer Praxis
Wiss. Zeitschrift der EMA Universität Greifswald, Medizinische Reihe, Jahrgang XXXV, (1986), Heft 3, S. 4 – 88
- /26/ Wiesner, A., Fisch, J.
Medizintechnische und –methodische Entwicklung der UV-Bestrahlung des Eigenblutes
Wiss. Z. TH Ilmenau, (1986) 1, S. 145 – 164
- /27/ Oren, D.
Humoral phototransduction
Light Treatment Biol. Rhythms 8, (1996), S. 52 – 55
- /28/ Oren, D.
Humoral phototransduction: blood in a messenger
Neuroscientist 2, (1996), S. 207 – 210
- /29/ Hollwich, F.
Untersuchungen über die Beeinflussung funktionaler Abläufe, insbesondere des Wasserhaushaltes durch energetische Anteile der Sehbahn
Ber. Dtsch. Ophthal. Ges. Heidelberg 54, (1948), S. 326 – 329
- /30/ Hollwich, F.
Über die Bedeutung des „energetischen Anteils der Sehbahn“ für die Regulation von Stoffwechselläufen
Münch. Med. Wschr. 94, (1952), S. 1053 – 1066
- /31/ Hollwich, F., Tilgner, S.
Einfluß der Lichtwirkung über das Auge auf Schilddrüse und Hoden
Dtsch. Med. Wschr. 87, 52, (1962), S. 2674 – 2676
- /32/ Hollwich, F., Tilgner, S.
Das Verhalten der Eosinophilenzahl als Indikator der okularen Lichtreizung
Klin. Mbl. Augenheilkunde 142, (1963), S. 531 – 540
- /33/ Hollwich, F.
Auge und Vegetativum
Studium Generale 17, (1964), S. 752 – 761

- /34/ Hollwich, F., Dieckhues, B.
Eosinopeniereaktion und Sehvermögen
Klin. Mbl. Augenheilkunde 152, (1968), S. 11 – 16
- /35/ Hollwich, F., Dieckhues, B.
Die Wirkung von Tages und Kunstlicht auf den tierischen und menschlichen Organismus
Fortschr. Med. 90, (1972), S. 25 – 28
- /36/ Jung, E., Holick, M.
Biologic effects of light 1993
Proceedings of a Symposium, Basel, Schweiz, 3. – 5.6.1993
Walter de Gruyter, Berlin, New York, (1994)
- /37/ Stark, H., Methling, D.
Lichtwirkungen auf Organ und Stoffwechselfvorgänge
Ges. Hyg. 25, 1, (1979), S. 7 – 14
- /38/ Tributsch, H., Goslowsky, H., Küppers, U., Wetzel, H.
Light collection and solar sensing through the polar bear pelt
Solar Energy Materials 21, (1990), S. 219 – 236
- /39/ Kohllöffel, L.
Interaction of light with the organ of corti
Arch. Oto.Rhino.Laryng. 218, (1977), S. 87 – 103
- /40/ Winfree, A.
Integrated view of resetting a circadian clock
J. Theor. Biol. 28, (1970), S. 327 – 374
- /41/ Aschoff, J.
Die zivilisierte Umwelt als krankmachender Faktor, das zirkadiane System. Grundlagen der Tagesperiodik und ihre Bedeutung für angewandte Physiologie und Klinik
Med. Klin. 68, (1973), S. 831 – 853
- /42/ Bünning, E.
The physiological clock
SpringerVerlag, Heidelberg, New York, (1973)
- /43/ Dieckhues, B.
Die Bedeutung der Lichtperzeption durch das Auge auf den Hormonhaushalt des Menschen
Klin. Mbl. für Augenheilkunde 165, (1974), S. 291
- /44/ Elliot, J.
Circadian rhythms and photoperiodic time measurements in mammals
Fed. Proc. 35, (1976), S. 2339 – 2346
- /45/ Sulzman, F., Fuller, C., MooreEde, M.
Feeding time synchronizes primate circadian rhythms
Physiol. Behav. 18, (1977), S. 775 – 779
- /46/ Winget, C., Lyman, J., Beljan, J.
The effect of low light intensity on the maintenance of circadian synchrony in human subjects
Holmquist, R. (ed), Life Sciences and Space Research, Pergamon Press, New York, (1977), S. 233 – 237
- /47/ Mayersbach, v., H.
Die Zeitstruktur des Organismus
Arzneim. Forsch. Drug. Res. 28 II, Heft 10a, (1978)
- /48/ Wetterberg, L.
Melatonin in humans: physiological and clinical studies
J. Neural. Transm. Suppl., (1978), S. 289 – 310
- /49/ Akerstedt, T., Fröberg, J., Friberg, Y., Wetterberg, L.
Melatonin excretion, body temperature and subjective arousal during 64 hours of sleep deprivation
Psychoneuroendo 4, (1979), S. 219 – 225
- /50/ Wever, R.
The circadian system of man
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, (1979)
- /51/ Lewy, A., Wehr, T., Goodwin, F., Newsome, D., Markey, S.
Light suppresses melatonin secretion in humans
Science 210, (1980), S. 1267 – 1269

- /52/ P.Schreiber, G.Ott
Schutz vor ultravioletter Strahlung
Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, (1985)
- /53/ T.Q.Khanh, A.GuggHelminger
Über die Messungen optisch inkohärenter Strahlung zum Strahlenschutz
Tagungsband der 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz Köln, 27. September
1.Oktober, (1999), S. 251-264
- /54/ Kommission Arbeitsschutz und Normung
„Normung im Bereich der nichtionisierenden Strahlung“, 1996
Herausgeber: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V.
- /55/ R.Peuker, M.Brose
Neue geplante Unfallverhütungsvorschrift „Inkohärente optische Strahlung“
Tagungsband der 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz Köln, 27. September
1.Oktober, (1999), S. 393-400
- /56/ P.Knuschke, T.Q.Khanh, M.Brose, H.U.Heidrich
UV-Exposition durch künstliche Strahlenquellen in Arbeitsbereichen Praktisches Vorgehen für eine Ri-
sikoanalyse
Tagungsband der 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz Köln, 27. September
1.Oktober, (1999), S. 493-504
- /57/ H.U.Heidrich
Gefährdung durch ultraviolette Strahlung am Arbeitsplatz
Tagungsband der 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz Köln, 27. September
1.Oktober, (1999), S. 505- 512
- /58/ P.Kuschke, T.Q.Khanh, M. Brose, H.U.Heidrich
Risikoanalyse für Arbeitsplätze mit Expositionen durch künstliche UV-Strahlenquellen
in “Strahlenschutzpraxis”, Heft 3/99, September 1999
- /59/ T.Q.Khanh
Measuring equipment for photobiologically effective radiation, in “Fundamentals for the As-
sessment of risks from Environmental Radiation”
Kluwer Academic Publishers, 1999, S. 69-74
- /60/ T.Q.Khanh, A.GuggHelminger
UV-health hazard assessment Guidelines, measuring methods and equipments
in Light & Engineering 1/99, Allerton Press NewYork & Moscow
- /61/ W.Erb (Hrsg.)
Leitfaden der Spektroradiometrie, Springer Verlag 1989
- /62/ T.Q.Khanh, Martin Brose
On the measuring method and latest equipment for reliable measurements of the photobiologi-
cally-chemically effective retinal hazards
in Light & Engineering, Allerton Press NewYork & Moscow, im Druck
- /63/ H.Siekmann
Messung und Beurteilung optischer Strahlung Handlungsbedarf
Tagungsband der 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz Köln, 27. September
1.Oktober, (1999), S. 513- 526