

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Life Sciences/Department Gesundheitswissenschaften
Studiengang Health Sciences

Gesundheitsfördernde Lichtgestaltung

–

Eine Herausforderung für Public Health, Medizin und Industrie

– Bachelorarbeit –

Abgabe: 25. August 2009

Vorgelegt von: Marie Bergholz

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Dr. Karl-Heinz Wehkamp

Zweiter Prüfer: Prof. Heinz Lohmann

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract.....	4
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Relevanz der Themenstellung.....	8
1.1.1 Kunstlicht – Ein ständiger Begleiter	9
1.1.2 Wenn die Nacht zum Tage wird – Schichtarbeit.....	10
1.1.3 Brustkrebs – Eine schwerwiegende Erkrankung	11
1.1.4 Die Melatonin-Hypothese.....	13
1.2 Methodik und Struktur	13
2 Krebsrisiken durch Licht bei Nacht – Epidemiologische Hinweise.....	15
2.1 Studien zum Krebsrisiko durch Kunstlicht	15
2.2 Bewertung der epidemiologischen Hinweise.....	16
3 Einflüsse von Licht auf den Körper – Biologische Hinweise	18
3.1 Die innere Uhr	18
3.2 Phototransduktion.....	20
3.2.1 Die Photorezeptoren	21
3.2.2 Der Nucleus suprachiasmaticus	22
3.2.3 Die Zirbeldrüse.....	23
3.2.4 Das Melatonin	23
3.3 Melatonin und Brustkrebs.....	25

3.4	Bewertung der biologischen Hinweise.....	26
4	Lichttechnik und Gesundheit - Konsequenzen für die Industrie.....	28
4.1	Grundlagen der Lichttechnik.....	28
4.1.1	Licht – was ist das eigentlich?	28
4.1.2	Lichttechnische Größen und Einheiten	30
4.1.3	Lichtfarbe und Farbtemperatur	30
4.1.4	Lampen – Von der Glühbirne zur Energiesparlampe.....	31
4.2	Auswirkungen bestimmter Lichtquellen auf den Melatoninpiegel	33
4.3	Dynamisches Licht – Eine Lösung	34
4.4	Bewertung von Beleuchtungskonzepten	35
5	Diskussion und Ausblick	37
5.1	Nächste Schritte in der Forschung	38
5.2	Prävention und Gesundheitsförderung durch Licht	38
5.3	Fazit.....	39
6	Literaturverzeichnis	40
	Danksagung.....	44
	Eidesstattliche Erklärung	45

Zusammenfassung

Studien zufolge haben Personen, die häufig nachts künstlichem Licht ausgesetzt sind, wie zum Beispiel Schichtarbeiter, ein höheres Risiko an Brust- und Prostatakrebs zu erkranken als Personen, die nicht exponiert sind. Fakt ist, dass das Hormon Melatonin nachts von der Zirbeldrüse gebildet wird, durch Licht aber gehemmt werden kann. Melatonin weist Eigenschaften auf, die vermutlich vor Krebs und anderen Erkrankungen schützen.

Bisherige epidemiologische und biologische Hinweise deuten an, dass durch bewusste Lichtgestaltung die Gesundheit der Bevölkerung gefördert werden könnte. Die Wirkmechanismen von Licht auf den Körper und die Gesundheit sind noch nicht ausreichend erforscht. Vom Public Health Standpunkt aus betrachtet ist es notwendig die Verbindung zwischen Licht und Gesundheit weiter interdisziplinär zu untersuchen. Sollte sich die These bestätigen, dass Licht bei Nacht Krebs oder andere Erkrankungen begünstigt, müssen entsprechende physiologische Beleuchtungsmöglichkeiten entwickelt und angewendet werden. Der biologische Aspekt von Beleuchtung hat sich in der Lichtplanung noch nicht flächendeckend durchgesetzt, findet jedoch zunehmend Beachtung. Das Potential von Licht zur Steigerung von Gesundheit und Wohlbefinden zu nutzen, kann als neuer Anspruch an modernes Lichtdesign betrachtet werden.

Abstract

Previous research suggests that population groups who are frequently exposed to artificial light, such as shift workers, are at higher risk to develop breast and prostate cancer. Evidence exists on the fact that the production of the hormone Melatonin by the pineal gland occurs at night, but it can be blocked by light. Certain characteristics of Melatonin indicate that the production of this hormone may prevent the development of cancer and other diseases.

Previous epidemiological and biological research shows that deliberate planning of light composition can promote population health. To date, the mechanisms of light and its effects on the human body and health have not been assessed adequately yet. From a Public Health point of view, it is necessary to conduct further interdisciplinary research to determine if a causal association exists between light and

health. If the hypothesis that artificial light at night increases the risk of cancer or other diseases should be confirmed, appropriate physiological illumination possibilities are recommended to be developed and applied. The biological aspect of illumination planning has not been enforced comprehensively, however, is being given increasing attention recently. Utilising the potential of light to increase health and well-being can be regarded as a new standard of light design.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verbreitung von elektrischem Licht auf der Erde	9
Abbildung 2: Verteilung der Brustkrebsinzidenz weltweit	12
Abbildung 3: 2 x 24-Stunden-Rhythmus von Melatonin- und Cortisolspiegel, Körpertemperatur und Aufmerksamkeit	19
Abbildung 4: Anatomie des Auges.....	21
Abbildung 5: Lage von SCN und Zirbeldrüse	22
Abbildung 6: Zeichnung der Zirbeldrüse von René Descartes	23
Abbildung 7: Elektromagnetische Wellen	29
Abbildung 8: Spektrenvergleich verschiedener Lichtquellen	31
Abbildung 9: Dynamisches Licht.....	34

Abkürzungsverzeichnis

ArbZG	Arbeitszeitschutzgesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
ER α +	Estrogenrezeptor-alpha-positiv
GBE	Gesundheitsberichterstattung des Bundes
IARC	International Agency for Research on Cancer
IEA	International Energy Agency
IR	Infrarot
K	Kelvin
LED	Light Emitting Diode
NHS	Nurses' Health Study
nm	Nanometer
RKI	Robert Koch-Institut
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SCN	Suprachiasmatischer Nukleus
UV	Ultraviolett
WHO	World Health Organization

1 Einleitung

1.1 Relevanz der Themenstellung

Licht, sowohl Sonnenlicht als auch künstliches Licht, ist allgegenwärtig und für alle Lebewesen von fundamentaler Bedeutung. Das Wissen über die Beziehung zwischen Licht und Gesundheit ist noch unvollständig. Neuen Erkenntnissen nach hat Licht eine regulierende Wirkung auf hormonelle Prozesse im Körper und beeinflusst somit Lebensrhythmen und Gesundheit.

In den letzten Jahren wurde der Einfluss von künstlichem Licht auf den Menschen zunehmend Gegenstand der Forschung. Auch die Medien haben ein Interesse an diesem Thema entwickelt. Anlass sind Studien, die zeigen, dass Menschen, die nachts arbeiten, einem erhöhten Erkrankungsrisiko ausgesetzt sind. Forscher haben herausgefunden, dass Licht bei Nacht den hormonellen Status verändert. Ein Zusammenhang zum starken Anstieg von Volkskrankheiten wie Depression, Diabetes, Übergewicht, Alzheimer oder Krebs in den westlichen Industrieländern ist nicht auszuschließen (Stevens et al., 2007). Nach neueren Erkenntnissen ist das Brustkrebsrisiko bei Schichtarbeiterinnen erhöht (Erren et al., 2008). Ähnliches gilt für Prostatakrebskrankungen bei Männern. Im Jahr 2007 stufte die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine Einrichtung der Weltgesundheitsorganisation (WHO), Schichtarbeit als „wahrscheinlich krebserregend“ ein (Straif et al., 2007). Die Vielzahl der Menschen, die nachts Beleuchtung ausgesetzt sind sowie die hohe Prävalenz der Krankheit Brustkrebs verleiht der Thematik ihre besondere Relevanz.

Neue Lichtgestaltung könnte dazu beitragen, die Gesundheit der Bevölkerung zu fördern und möglicherweise die Anzahl der Brustkrebsfälle zu reduzieren. Ausgehend von dieser These ergeben sich folgende Fragen, die in dieser Arbeit beantwortet werden sollen: Warum steht Licht bei Nacht im Verdacht das Brustkrebsrisiko zu erhöhen? Welchen biologischen Einfluss hat künstliches Licht auf den Menschen? Durch welche Beleuchtungskonzepte könnte man den Gesundheitszustand der Bevölkerung steigern? Welche Konsequenzen hat diese Thematik für die Lichttechnik?

Bevor den Fragestellungen in den weiteren Kapiteln dieser Arbeit nachgegangen wird, soll anhand von Hintergrundinformationen zu Licht, Schichtarbeit und Brustkrebs die Relevanz des Themas verdeutlicht werden.

1.1.1 Kunstlicht – Ein ständiger Begleiter

Naturgegebenen Hell-Dunkel-Perioden kann man sich heute durch künstliche Beleuchtung weitgehend entziehen. Zunehmend technisierte, schnelle und globale Prozesse auf der Welt tragen dazu bei, dass sich der Lebensrhythmus vieler Menschen von natürlichen Lichtgegebenheiten entfernt. Die moderne Lichttechnik ist sowohl im Arbeitsleben als auch in der Freizeitgestaltung nicht mehr wegzudenken.

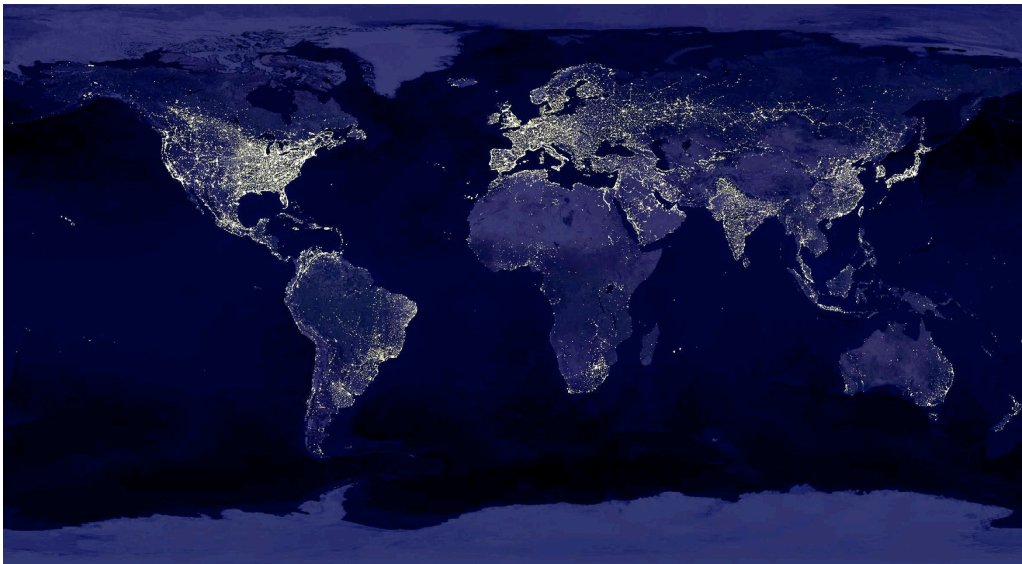


Abbildung 1: Verbreitung von elektrischem Licht auf der Erde (Quelle: National Aeronautics and Space Administration, NASA)

Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte der Amerikaner Edison die erste Glühlampe, deren Anwendung sich durchsetzte (Ris, 2003, 15). Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist elektrischer Strom – und somit künstliche Beleuchtung – für die meisten Menschen rund um die Uhr verfügbar (Zulley und Knab, 2009, 168). Durch neue lichttechnische Entwicklungen und energiepolitische Interventionen, wie beispielsweise der Beschluss der Europäischen Union zur Abschaffung der Glühbirne bis 2012, ändert sich der Charakter von Kunstlicht derzeit zunehmend.

Laut der International Energy Agency (IEA) hat Beleuchtung einen Anteil von über 17 Prozent am Stromverbrauch weltweit. Der Einsatz von künstlicher Beleuchtung wächst rapide. Kunstlicht wird in öffentlichen Gebäuden, Haushalten, Industrie und Straßenbeleuchtung angewendet. Wie auf Abbildung 1 zu erkennen ist, gibt es auf der Erde Ballungsräume von Kunstlicht, so zum Beispiel in Europa, Nordamerika und Japan. Diese Gebiete, vor allem die westlichen Industrienationen, sind besonders stark von Brustkrebserkrankungen betroffen (Blask, 2008). Ebenfalls sind hier Schicht- und Nachtarbeit weit verbreitet (Straif et al., 2007).

1.1.2 Wenn die Nacht zum Tage wird – Schichtarbeit

Vor der Industrialisierung ab Ende des 18. Jahrhunderts waren nur wenige Menschen nachts aktiv. Mit der Nutzung von Maschinen in den Fabriken wurde zur Profitsteigerung die Arbeit rund um die Uhr eingeführt (Zulley und Knab, 2009, 169). Heute werden Schichtarbeiterinnen und Schichtarbeiter zunehmend nicht nur in Industriebetrieben, sondern auch im Dienstleistungssektor eingesetzt, zum Beispiel im Bereich Pflege, Sicherheit, Kommunikation und Verkehrswesen (Kollig, 2006). Die Arbeitszeitalage weist einen „Trend zur Rund-um-die-Uhr-Gesellschaft“ (Seifert, 2005, 479) mit zunehmend atypischen Arbeitszeiten auf. Circa 20 Prozent der arbeitenden Bevölkerung in Europa und den USA sind heute im Schichtsystem, inklusive Nachtarbeit, tätig (Straif et al., 2007). In den USA ist das Schichtarbeitsvorkommen am höchsten (International Labour Organization, 2004). Dort gibt es – im Gegensatz zu europäischen Ländern – keine generelle Regulation von Arbeitszeiten.

Schichtarbeit ist ein Instrument zur Flexibilisierung der Arbeitszeit und bringt auf den ersten Blick gesellschaftliche und ökonomische Vorteile. Nachteilig wirken sich Schichtdienste jedoch unter Umständen durch die Störung biologischer Rhythmen bei den betroffenen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern aus. Die Tatsache, dass Nachtarbeiterinnen und Nachtarbeiter häufiger krank sind, als Menschen, die nur tagsüber arbeiten, ist inzwischen weithin anerkannt und schlägt sich sogar in der deutschen Gesetzgebung nieder.

Laut dem seit 1994 geltenden deutschen Arbeitszeitgesetz wird die Zeit zwischen 23 und 6 Uhr als Nachtzeit betrachtet. Als Nachtarbeit wird jede Arbeit definiert, die mehr als zwei Stunden der Nachtzeit umfasst. Die Arbeitszeit der Betroffenen

Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer „ist nach den gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit festzulegen“ (ArbZG § 6, Abs. 2). Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sind berechtigt, sich in regelmäßigen Zeitabständen arbeitsmedizinisch untersuchen zu lassen. Besondere Regelungen zu Arbeitszeiten sind im Mutterschutz- und Jugendarbeitsschutzgesetz festgehalten.

Zu den nachgewiesenen Risiken von Schichtarbeit gehören Schlafprobleme, Konzentrationsschwächen mit erhöhtem Unfall- und Fehlerrisiko, Verdauungsstörungen, Herz- Kreislauferkrankungen und psychische Störungen (Kollig, 2006). Aktuelle Forschungsergebnisse lassen ein erhöhtes Brustkrebsrisiko bei Frauen und Prostatakrebsrisiko bei Männern durch Nachtarbeit vermuten.

1.1.3 Brustkrebs – Eine schwerwiegende Erkrankung

In Deutschland und weltweit ist Brustkrebs (Mammakarzinom) die häufigste bösartige Krebsart bei Frauen. Ein Krebs entsteht, wenn ein genetischer Fehler in einer Zelle nicht repariert werden kann und sich die mutierte Zelle weiter teilt und vermehrt (Arnot, 2000, 40). Das Mammakarzinom entwickelt sich meistens im zur Achsel gelegenen Brustquadranten.

Brustkrebserkrankungen sind nicht nur individuelle Schicksalsschläge für Betroffene, sie verursachen auch hohe Kosten im Gesundheitssystem. Über 1,5 Milliarden Euro wurden im Jahr 2002 in Deutschland für die Behandlung von Brustkrebs bei Frauen aufgewendet (Gesundheitsberichterstattung des Bundes, 2008). Zu den direkten Kosten sind indirekte Kosten in unbekannter Höhe zu zählen, diese entstehen zum Beispiel durch Arbeitsausfall oder Frühberentung.

Laut WHO liegt die jährliche Brustkrebsinzidenz weltweit bei über einer Millionen Frauen. Das Brustkrebsrisiko ist in Industrieländern fünf Mal höher als in Entwicklungsländern (Blask, 2008). Nach Schätzungen des Robert Koch-Instituts (RKI) gibt es in Deutschland jedes Jahr 47.500 Neuerkrankungen. Durchschnittlich erkrankt in Deutschland jede elfte Frau an Brustkrebs. 30 Prozent der Todesfälle an Krebs sind auf Brustkrebs zurückzuführen. Die Letalität beträgt ungefähr 20 Prozent. Das mittlere Erkrankungsalter ist verglichen mit anderen Krebsarten relativ gering. Brustkrebs macht 40 Prozent der Krebsneuerkrankungen bei Frauen zwi-

schen 35 und 59 Jahren aus. Bei Männern kommt Brustkrebs deutlich seltener vor: Etwa ein Mann erkrankt auf 100 Frauen. Als Pendant zum Brustkrebs bei Frauen kann bei Männern der Prostatakrebs gesehen werden.

Zu den bekannten Faktoren, die das Brustkrebsrisiko erhöhen, zählen Lebensstil, genetische Disposition und hormoneller Status (GBE, 2008). Ein gesunder Lebensstil, der eine ausgewogene Ernährung, geringen Alkoholkonsum und regelmäßige sportliche Aktivität einschließt, kann sich senkend auf das Brustkrebsrisiko

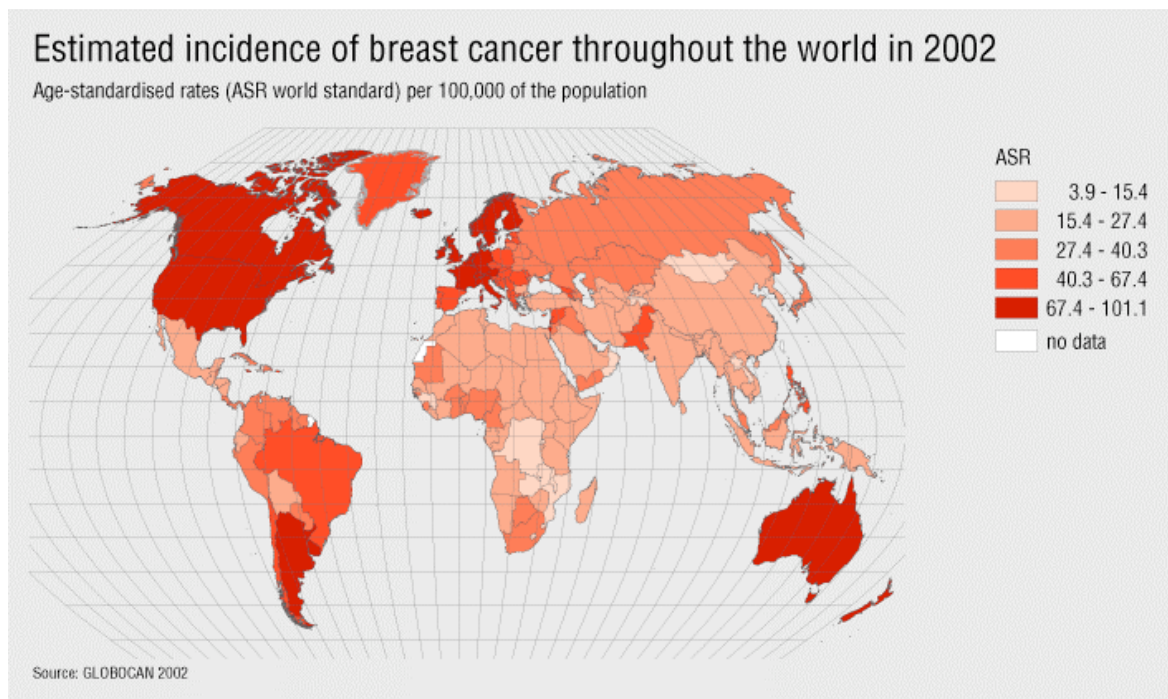


Abbildung 2: Verteilung der Brustkrebsinzidenz weltweit (Quelle: European Union Public Health Information System, EUPHIX)

auswirken. Genetische Ursachen von Brustkrebs sind nur für fünf bis zehn Prozent der Fälle verantwortlich. Seit einigen Jahren sind die Brustkrebsgene BRCA1 und BRCA2 bekannt, sie erhöhen das Brustkrebsrisiko ihrer Trägerinnen um 80 bis 85 Prozent (European Network of Cancer Registries, 2002). Bestimmte Geschlechtshormone werden mit der Entwicklung von Brust- und Prostatumoren in Verbindung gebracht. Ein hoher Estrogenspiegel und eine Verlängerung der Gesamtzeit, der Frauen Estrogen ausgesetzt sind, gilt als Risikofaktor für Brustkrebs (Arnot, 2000, 38). Ausgetragene Schwangerschaften und lange Stillzeiten senken das Brustkrebsrisiko, während sich eine frühe erste Regelblutung und eine späte Menopause negativ auswirken können (GBE, 2006). Studien haben gezeigt, dass die

Zufuhr von Estrogenen im Rahmen einer Hormontherapie gegen Wechseljahrsbeschwerden das Risiko an Brustkrebs zu erkranken steigert (Chlebowski et al., 2003).

Etwa die Hälfte aller Brustkrebsfälle können nicht den konventionellen Risikofaktoren zugeordnet werden (Blask, 2008). Vor dem Hintergrund einer zunehmenden 24-Stunden-Gesellschaft mit rund um die Uhr-Beleuchtung vermuten Forscher einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Licht bei Nacht und Brust- und Prostatakrebs. Bei dieser Annahme dient das Hormon Melatonin als Verbindung zwischen der Exposition und der Erkrankung.

1.1.4 Die Melatonin-Hypothese

Der Begriff ‚Melatonin-Hypothese‘ ist auf den Forscher R.G. Stevens und seine Veröffentlichungen in den 1980er Jahren zurückzuführen. Melatonin ist ein Nachthormon, das vermutlich eine Rolle bei diversen regenerativen Prozessen im Körper spielt. Laut der Theorie wurden zunächst elektromagnetische Felder (EMF) für eine Störung der Melatoninproduktion verantwortlich gemacht, die ihrerseits durch eine Erhöhung des Geschlechtshormons Estrogen zu Brustkrebs führen könnte. Bisher konnten Studien jedoch nicht eindeutig zeigen, ob eine niederfrequente elektromagnetische Strahlung außerhalb des sichtbaren Bereichs die Melatoninsekretion bei Menschen beeinflusst (RKI, 2007). Die Melatonin-Hypothese wurde mit der gesicherten Erkenntnis modifiziert, dass Licht diesen hemmenden Effekt auf Melatonin besitzt.

1.2 Methodik und Struktur

Um die anfangs genannte These zu überprüfen, wurde eine Analyse der bestehenden Sekundärliteratur durchgeführt sowie relevante und aktuelle Studien herangezogen. Die epidemiologische Lage zu Beleuchtung und Krebs wurde recherchiert. Ebenso wurden die biologischen Hintergründe zu Licht und Gesundheit, speziell die Verbindung zwischen Licht und Brustkrebs, analysiert. Im nächsten Schritt wurde überprüft ob und wie die wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Einfluss von Beleuchtung lichttechnisch umgesetzt werden. Um Einstellung und Stand der Lichtindustrie zu der Thematik zu ermitteln, wurden Informationen der Firmen Philips und Osram eingeholt. Schließlich wurden auf der Basis aller Re-

chercheergebnisse Vorschläge zu einem gesundheitsfördernden Umgang mit Beleuchtung entwickelt.

Nach der Einleitung wird im zweiten Kapitel der aktuelle Forschungsstand anhand statistischer Ergebnisse zum Brustkrebsrisiko durch Licht bei Nacht dargestellt. Einschlägige internationale Studien zu der Thematik werden vorgestellt und bewertet. Im dritten Kapitel findet eine Auseinandersetzung mit den zugrunde liegenden physiologischen Prozessen statt. Biologische Erkenntnisse, Resultate von Experimenten und Annahmen über den Einfluss von Licht auf den Körper werden dabei aufgezeigt. Im vierten Kapitel wird die Lichttechnik beleuchtet und Möglichkeiten zur physiologischen Beleuchtung werden vorgestellt. Die Arbeit schließt mit einer Diskussion über die gewonnenen Erkenntnisse ab.

2 Krebsrisiken durch Licht bei Nacht – Epidemiologische Hinweise

In Gegenden mit wenig Licht, wie zum Beispiel der Arktis, sind Brust- und Prostatakrebserkrankungen seltener als bei Personen, die viel Kunstlicht ausgesetzt sind. Die Tatsache, dass auch Blinde seltener an Brust- und Prostatakrebs erkranken als Sehende, deutet darauf hin, dass diese Krebsarten im Zusammenhang mit der Lichtaufnahme durch das Auge stehen können. Mehrere Studien lassen darauf schließen, dass eine Verbindung zwischen Licht bei Nacht, zirkadianer Störung und Brust- und Prostatakrebsentwicklung besteht. Eine Auswahl von epidemiologischen Ergebnissen wird im Folgenden vorgestellt. Bei den herangezogenen Studien wurde auf das relative Risiko (RR), bzw. die Odds Ratio (OR), das Konfidenzintervall (CI) und die Signifikanz (P-Wert) geachtet.

2.1 Studien zum Krebsrisiko durch Kunstlicht

Eine US-amerikanische Fall-Kontroll-Studie untersuchte das Schlafverhalten von Frauen, die an Brustkrebs erkrankt waren ($n = 813$), in Bezug auf ihre Lichtexposition bei Nacht während der vergangenen zehn Jahre vor der Diagnose (Davis et al., 2001). 793 gesunde Frauen bildeten die Kontrollgruppe. Die Resultate der Studie wiesen darauf hin, dass häufige kurze Schlafunterbrechungen mit Lichteinschalten keine Auswirkungen auf das Brustkrebsrisiko hatten. Möglicherweise könnte das Brustkrebsrisiko mit dem Helligkeitsniveau des Schlafzimmers steigen. Die Hinweise darauf waren jedoch nicht statistisch signifikant. Frauen, die oft während des Melatoninpeaks in den frühen Morgenstunden durch ihre Arbeit Licht ausgesetzt waren, hatten ein erhöhtes Brustkrebsrisiko (OR 1,14; CI 95 Prozent, 1,01-1,28). Das Risiko stieg an, je häufiger und je länger Frauen nachts unter Lichteinfluss standen.

Kloog et al. verglichen das Krebsvorkommen bei Männern in 164 verschiedenen Ländern mit dem jeweiligen Beleuchtungsvorkommen anhand von Einwohnerzahlen, Krebsfällen und Satelliten-Nacht-Bildern. Das Ergebnis zeigte eine signifikante positive Assoziation von Licht bei Nacht und Prostatakrebs. Dies war nicht der Fall bei anderen häufigen Krebsarten wie Lungen- oder Darmkrebs. In Ländern mit

dem höchsten Lichtvorkommen bei Nacht war das Prostatakrebsrisiko 110 Prozent höher als in Ländern mit wenig nächtlicher Beleuchtung (Kloog et al., 2009).

In Finnland wurden Krebs- und Sehbehindertenregister miteinander verglichen (Pukkala et al., 2006). Es kam heraus, dass mit zunehmender Sehbeeinträchtigung das Brustkrebsrisiko sank. Blinde Frauen hatten ein um 40 Prozent niedrigeres Brustkrebsrisiko im Vergleich zu Frauen ohne Sehbehinderung.

Die Uniklinik Köln erstellte 2008 eine Meta-Analyse aus 30 internationalen epidemiologischen Studien zur Störung des zirkadianen Rhythmus und Krebs (Erren et al., 2008). 21 Studien über Flugpersonal und neun Studien über Schichtarbeiterinnen und Schichtarbeiter wurden einbezogen. Bei Flugpersonal stellte sich ein um 70 Prozent erhöhtes Brustkrebsrisiko heraus, für Prostatakrebs stieg das Risiko um 40 Prozent. Für Schichtarbeiterinnen ergab sich ein 40 bis 50 Prozent höheres Risiko Brustkrebs zu bekommen.

Die Nurses' Health Study (NHS) ist eine prospektive Studie, die 1976 mit der ersten Kohorte und 1989 mit der zweiten Kohorte startete. Insgesamt wurden 238.000 US-amerikanischen Krankenschwestern befragt und untersucht. Den Daten der NHS ist zu entnehmen, dass Frauen, die im Schichtsystem arbeiten, ein signifikant erhöhtes Risiko haben, an Brustkrebs zu erkranken (Schernhammer et al., 2001). Die Wahrscheinlichkeit Brustkrebs zu bekommen steigt bei Frauen, die 30 Jahre oder länger Schichtarbeit leisten, um das 1,36-fache (RR 1,36; CI 95 Prozent, 1,04-1,78; P = 0,02). Bei Frauen, die 1 bis 29 Jahre im Schichtdienst arbeiteten, ergab sich ein relatives Risiko von 1,08. Eine im Rahmen der Nurses' Health Study durchgeführten Fall-Kontroll-Studie (Schernhammer und Hankinson, 2009) zeigte eine Assoziation zwischen hohem Melatoninspiegel, gemessen am Morgenurin der Probandinnen, und niedrigem Brustkrebsrisiko (OR 0,62; CI 95 Prozent, 0,41-0,95; P = 0,004). Ein hoher Melatoninspiegel kann demnach als Schutzfaktor für Brustkrebs gesehen werden.

2.2 Bewertung der epidemiologischen Hinweise

Die hier zitierten Studien unterstützen die These, dass eine Lichtexposition bei Nacht das Brustkrebsrisiko bei Frauen und das Prostatakrebsrisiko bei Männern erhöhen kann. Zusammenfassend kann man aus den Daten schließen, dass Per-

sonen, die häufig und langfristig nachts arbeiten, ein moderat höheres Krebsrisiko haben als Personen, die weniger nächtlicher Beleuchtung ausgesetzt sind.

Um einen eindeutigen wissenschaftlichen Beweis oder Gegenbeweis zu erbringen, ob Kunstlicht Krebs verursachen kann, müssen weitere epidemiologische Studien folgen. Es ist notwendig, Faktoren auszuschließen oder zu ermitteln, die statt des Lichts für die Ergebnisse verantwortlich sein könnten, wie zum Beispiel Ernährungsweisen oder nicht sichtbare Strahlenbelastung. Auch muss die Art der Beleuchtung in Zusammenhang mit möglichen Akut- und Langzeitfolgen präziser geprüft werden. Es ist schwierig, den Einfluss von Licht auf das Melatoninlevel und andere physiologische Prozesse zu messen. Entsprechende Methoden zur Evaluation von Lichtexposition, die Confounder und Bias ausschließen, müssen entwickelt werden. Um valide Ergebnisse zu erzielen, sollte eine Kombination von Studiendesigns durchgeführt werden. Industrie-basierte Studien sollten durch Bevölkerungs-basierte Studien ergänzt werden (Erren et al., 2009). Um schnell Ergebnisse zu erzielen, sind retrospektive Studien prospektiven Studien vorzuziehen.

Neben epidemiologischen Daten müssen biologische Ergebnisse aus Experimenten hinzugezogen und beurteilt werden. Die weitere Erforschung der Verbindung zwischen Licht bei Nacht und Krebsrisiko stellt aufgrund der epidemiologischen Hinweise eine notwendige gesundheitswissenschaftliche Konsequenz dar.

3 Einflüsse von Licht auf den Körper – Biologische Hinweise

Die photobiologischen Wirkungen von Sonnenlicht und Kunstlicht auf Körper und Psyche sind vielfältig. Lichtquellen lösen je nach physikalischer Zusammensetzung des Lichts unterschiedliche Reaktionen in Haut, Auge und Gemütslage aus. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Wechselwirkung zwischen Licht und inneren Rhythmen und dem Prozess der Phototransduktion.

3.1 Die innere Uhr

Der rhythmische Wechsel zwischen Tag und Nacht gehört zu den elementarsten Merkmalen der Umwelt. Der natürliche Hell-Dunkel-Rhythmus kommt durch die Erdrotation zustande. In 24 Stunden dreht sich die Erde einmal um die eigene Achse. Innerhalb eines Jahres kreist die Erde einmal um die Sonne, durch die Neigung der Erdachse entstehen Jahreszeiten mit unterschiedlicher Lichtintensität auf der Erde (Wegscheider Hyman, 1993, 15). Menschen, Tiere und Pflanzen haben sich im Laufe der Evolution an die Rhythmik der Licht- und Temperaturschwankungen angepasst. Der zirkadiane Rhythmus (lateinisch circa = ungefähr, dies = Tag) umfasst eine Zeitperiode von 24 Stunden, also einen Tag und eine Nacht.

Chronobiologen, die sich mit Lebensrhythmen von Organismen beschäftigen, sprechen von angeborenen Oszillatoren, Schwingungsmechanismen, die auch ohne Umweltreize, wie Licht-Dunkel-Wechsel, Uhren und soziale Zeitgeber einen zirkadianen Takt einhalten (Bogacki, 1999, 146). Eine innere Uhr steuert Gehirn- und Organfunktionen wie Kreislauf, Schlaf und Verdauung. Licht fungiert als wichtiger Zeitgeber für den biologischen Takt. Die innere Uhr sorgt für eine Synchronisation zwischen Hell-Dunkel-Perioden und endokrinen Rhythmen (Lerchl, 2002, 4). Dem populären Begriff ‚innere Uhr‘ liegen biologische Erkenntnisse zugrunde. Die Existenz der inneren Uhr wurde zum Beispiel in den oft wiederholten Bunker- Versuchen erforscht.

Das in der Literatur wohl am häufigsten zitierte Experiment zur inneren Uhr wurde ab 1962 von Aschoff und Wever in der Nähe von München durchgeführt. Versuchspersonen wurden in Bunkerräumen isoliert und lebten ohne äußere Zeitinformationen. Die Ergebnisse der Experimente weisen zum einen auf die Existenz einer stabilen inneren Uhr hin. Der Schlaf-Wach-Rhythmus der Testpersonen zeigte im Mittel einen 25-Stunden-Takt. Das bedeutet, er war nur eine Stunde länger als der durch die Erdrotation vorgegebene zirkadiane Rhythmus. Zum anderen bewies die innere Uhr Flexibilität. Testpersonen, die durch die Bunkerbeleuchtung einen Hell-Dunkel-Rhythmus diktiert bekamen, konnten sich diesem bis zu einer künstlichen Tageslänge von 32 Stunden anpassen. Ein drittes wichtiges Resultat ergab sich aus der Messung der Körpertemperatur. Diese schwang weitaus konstanter im zirkadianen Takt als der Schlafrhythmus. Normalerweise haben Temperaturrehythmus und Schlaf-Wach-Rhythmus die gleiche Periodenlänge, sie sind aneinander gekoppelt. In der zweiten Hälfte des Nachtschlafs erreicht die Körpertemperatur ihren Tiefpunkt (Zulley und Knab, 2009, 76). Gerät der Schlafrhythmus aus dem Takt, bleibt der Temperaturrehythmus stabil und es kommt zu einer Desynchronisation. Probanden, die im Bunker eine solche Phasenverschiebung erlebten wiesen eine Verschlechterung des Wohlbefindens, der Stimmung und der Konzentrationsfähigkeit auf.

An der Steuerung des zirkadianen Rhythmus sind zwei Hormone wesentlich beteiligt: Das ‚Schlafhormon‘ Melatonin und als Gegenspieler das ‚Aktivitätshormon‘ Cortisol. Schlaf- und Leistungsphasen sind individuell verschieden. Morgenaktive

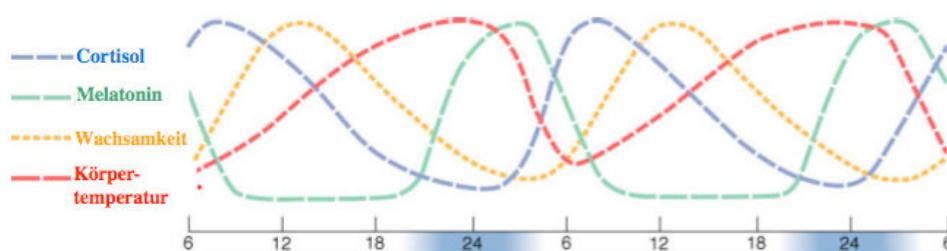


Abbildung 3: 2 x 24-Stunden-Rhythmus von Melatonin- und Cortisolspiegel, Körpertemperatur und Aufmerksamkeit (Quelle: Philips AEG Licht)

Frühaufsteher werden als Lerchen und abendaktive Langschläfer werden als Eulen bezeichnet (Spork, 2004, 133). Messbar an der Körpertemperatur neigen Ler-

chen zu einer inneren 24-stündigen Periodik, während Eulen eher von einem 26-Stunden-Rhythmus gesteuert sind (Zulley und Knab, 2009, 127). Allgemein ist vormittags die mentale- und nachmittags die physische Leistungsfähigkeit höher (Wegscheider Hyman, 1993, 27). Aufgrund des Müdigkeitstiefs in der Mitte des Tages wird in der Literatur einstimmig ein Mittagsschlaf empfohlen.

Die Funktionen der inneren Uhr machen sich Chronopharmakologen in verschiedenen Therapien zu Nutze (Zulley und Knab, 2009, 21). Medikamente können verschieden wirken, je nachdem um welche Tageszeit sie eingenommen werden. Nach Auffassung der Verfasserin liegt hier ein noch nicht ausgeschöpftes Potential in der Medizin.

Störungen des zirkadianen Rhythmus sind eine Konsequenz des modernen Lebensstils (Sahar und Sassone-Corsi, 2007). Wird die innere Uhr einmal durcheinander gebracht, zum Beispiel in Form eines Jet-Lags, reagiert sie zunächst irritiert und passt sich dann nach einigen Tagen der neuen Umgebung an (Marsden, 1999). Eine einzige schlaflose Nacht bringt die innere Uhr nicht wesentlich aus dem Takt. Wird der Rhythmus jedoch ständig umorganisiert, hat das Einfluss auf biologische Prozesse im Körper und Folgen für Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit. Umgekehrt hat der Gesundheitszustand auch Folgen für den biologischen Rhythmus. „Kranke zeigen deutlich kürzere Rhythmen, und zwar umso deutlicher, je kränker sie sind, nämlich im Zwölf-, Acht- oder gar Vier-Stunden-Takt“ (Zulley und Knab, 2009, 17). Die Auswirkungen der Verbindung zwischen Licht, Lebensrhythmus und Gesundheit kann sich in vielfältiger Weise äußern. Licht kann sich als Nährstoff begreifen lassen, der lebensnotwendig ist und in richtigen Mengen aufgenommen werden muss.

Nachfolgend wird beschrieben, auf welchen biologischen Strukturen die innere Uhr basiert und wie Licht auf endokrine Mechanismen wirkt.

3.2 Phototransduktion

Dass Licht einen physiologischen Einfluss auf Menschen und andere Lebewesen hat, ist unumstritten. Ein bedeutender Weg dieser Einflussnahme ist die Phototransduktion. Hierbei wird Licht vom Auge absorbiert und in chemische Signale umgewandelt. Dieser Prozess ermöglicht das Sehen. Erst seit wenigen Jahren

weiß man, dass er auch den zirkadianen Rhythmus bestimmt. Signale über Licht und Dunkelheit werden von speziellen Photorezeptoren in den Augen an das Gehirn geleitet und beeinflussen in der Zirbeldrüse die Produktion des Hormons Melatonin. Ist unsere Umgebung dunkel, wird Melatonin ausgeschüttet. Licht und Dunkelheit beeinflussen auf diesem Weg unseren hormonellen Status und unsere Körperfunktionen. Die einzelnen Schritte in diesem Prozess werden im Folgenden dargestellt.

3.2.1 Die Photorezeptoren

Das Auge ist nicht allein ein Sehorgan, es ist maßgeblich an der Steuerung der inneren Uhr beteiligt. In der Netzhaut, oder Retina, des Auges befinden sich spezielle lichtempfindliche Sinneszellen, die Photorezeptoren. Die Netzhaut liegt, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, an der hinteren Wand des Augapfels. Etwa 120 Millionen Stäbchen bilden die eine Gruppe der Photorezeptoren, sie sind für das Hell-

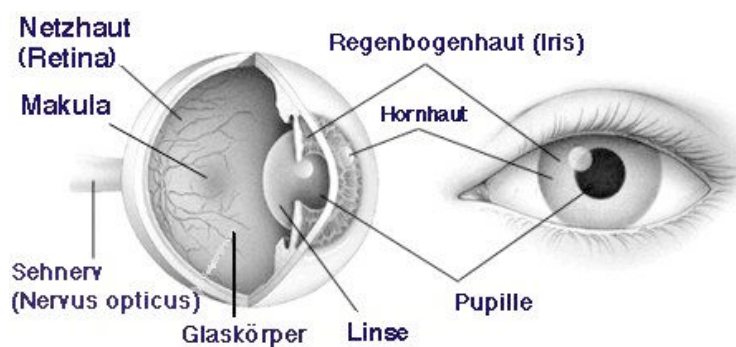


Abbildung 4: Anatomie des Auges (Quelle: Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, UKE)

Dunkel-Sehen und das Sehen in der Dämmerung verantwortlich. Die zweite Gruppe besteht aus etwa 6 Millionen Zapfen, die für Farberkennung zuständig sind (Faller, 2008, 718). Beide Empfänger-elemente sind über ein Bipolar- und Ganglienzellensystem

mit dem Sehnerv verbunden. Licht wird von den Photorezeptoren absorbiert und löst eine Erregung des Sehnervs aus, die zu einer Helligkeitsempfindung im Gehirn führt (Hentschel, 2002, 10).

2001 wurde ein dritter Typ von Photorezeptoren entdeckt (Thapan et al., 2001). Dieser nicht-visuelle Zelltyp spielt nach aktuellen Forschungsergebnissen eine wesentliche Rolle für die biologische Uhr. Die dritten Photorezeptoren leiten Informationen über den äußeren Lichtzustand an das Gehirn weiter. Verantwortlich dafür ist das Photopigment Melanopsin. Die opsinhaltigen Lichtrezeptoren wirken auf die Produktion des Hormons Melatonin in der Zirbeldrüse und bilden daher ein re-

gulierendes Element im zirkadianen Rhythmus (Brainard et al., 2001). Verschiedene Studien an Blinden ließen Forscher auf die Existenz dieser Photopigmente schließen. Blinde, deren Netzhaut intakt war, hatten denselben zirkadianen Rhythmus wie Sehende. Personen, denen die lichtsensiblen Photorezeptoren fehlten, wiesen Störungen der inneren Uhr auf (Spork, 2004, 110).

3.2.2 Der Nucleus suprachiasmaticus

Der Nucleus suprachiasmaticus (SCN), ein Zellkomplex im Hypothalamus, kann als innere Uhr des Menschen betrachtet werden (Greenstein und Raue, 1996, 74). Der SCN bildet die Verbindung zwischen den Augen und der Zirbeldrüse und steuert somit durch einen komplizierten Schaltkreis die Melatoninproduktion (Reiter, 1997, 29). Die retinalen Photorezeptoren leiten per Sehnerv Informationen über die äußeren Lichtverhältnisse an den SCN. Von dort werden diese an die Zirbeldrüse übermittelt und fördern oder hemmen die Melatoninsynthese. Durch eine Häufung von Melatoninrezeptoren am SCN wird dieser über die Melatoni-

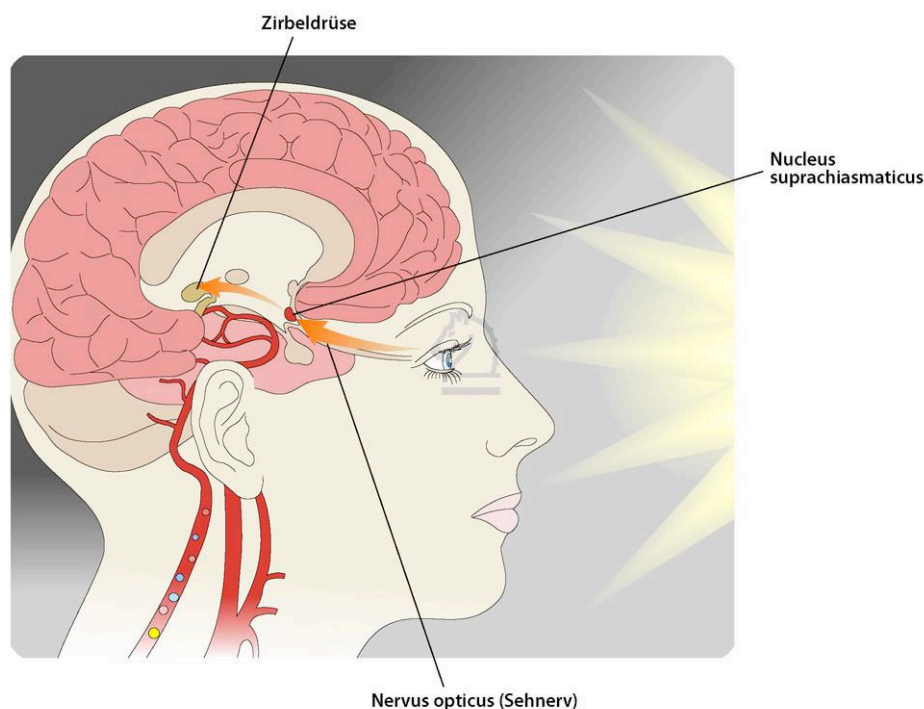


Abbildung 5: Lage von SCN und Zirbeldrüse (Quelle: Springer Medizin Verlag GmbH)

nausschüttung informiert. Ebenfalls steht der SCN über chemische Signale und Nervenverbindungen mit der Hypophyse in Kontakt und gibt ihr Anweisungen (Spork, 2004, 150). Die Hypophyse, oder Hirnanhangsdrüse, reguliert das neuro-

endokrine System durch eine Vielzahl von Hormonen. Der SCN synchronisiert die tageszeitlichen und jahreszeitlichen Licht- und Temperaturverhältnisse der Umwelt mit den Vorgängen im Körper (Lerchl, 2002, 4). Neben der Melatoninproduktion reguliert der SCN tägliche biologische Rhythmen wie Körpertemperatur, Appetit und Stoffwechsel (Blask, 2008). Tierversuche zeigten, dass eine Entfernung des SCN einen Verlust des Tagesrhythmus auslöst. Somit wurde er als Zeitzentrum identifiziert (Zulley und Knab, 2009, 102).

3.2.3 Die Zirbeldrüse

Die Zirbeldrüse (andere Bezeichnungen: Epiphyse, Glandula pinealis, Corpus pineale) wurde im Deutschen nach den Zapfennüssen der Zirbelkiefer benannt (Greenstein und Raue, 1996, 74). Sie hat etwa die Größe eines Maiskorns und be-

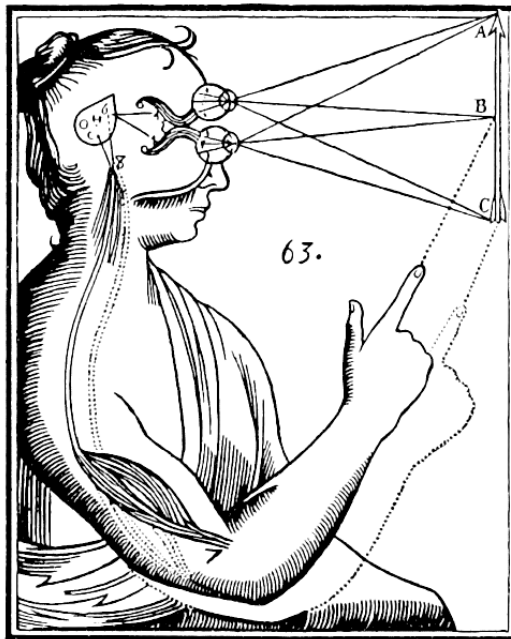


Abbildung 6: Zeichnung der Zirbeldrüse von René Descartes

findet sich im Zwischenhirn. Zu 80 bis 90 Prozent besteht das Gewebe der Zirbeldrüse aus Pinealozyten. Dieser neuroendokrine Zelltyp bildet das Hormon Melatonin (Korf, 2004, 228). Möglicherweise ist das Pinealorgan auch für weitere, bisher unbekannte Funktionen zuständig. Bereits seit der Antike zieht die Zirbeldrüse die Aufmerksamkeit von Forschern auf sich (Greenstein und Raue, 1996, 74). Wohl auch, weil sie nicht, wie andere Drüsen, paarig angelegt ist. Erstaunlich weit seiner Zeit voraus waren die Annahmen, die Descartes (1595 bis 1650) über die Zirbeldrüse anstellte. Der Philosoph sah

bereits den Zusammenhang zwischen Auge und Hormondrüse, der erst vor wenigen Jahren belegt wurde.

3.2.4 Das Melatonin

Melatonin wird in mehreren Teilschritten aus der Aminosäure Tryptophan synthetisiert. Unmittelbar nach der Herstellung in der Zirbeldrüse wird das Hormon aus

den Pinealozyten in die Blutbahn abgegeben (Korf, 2004, 228). Nachts ist die Melatoninbiosynthese am stärksten. Gegen drei Uhr ist die höchste Melatoninkonzentration im Blut nachzuweisen (Spork, 2004, 146). Je niedriger die Körpertemperatur, desto mehr Melatonin wird gebildet (Zulley und Knab, 2009). Die Melatoninproduktion ist abhängig von Helligkeit, sie wird von Licht gehemmt (Faller, 2008, 360). Schlaf oder geschlossene Augen sind nicht notwendig um Melatonin zu produzieren, sondern eine dunkle Umgebung (Blask, 2008). Melatonin hat im Blut eine Halbwertszeit von etwa 30 Minuten (RKI, 2007). Vermutlich beeinflusst Licht die Melatoninsynthese nicht nur per Auge, sondern auch durch die Haut. Darauf lassen Ergebnisse von Experimenten (Campbell und Murphy, 1998) schließen, bei denen die Kniekehlen von Probanden nachts mit Licht bestrahlt wurden, wodurch die Melatoninkonzentration im Blut sank.

Während der Kindheit weist der Tag-Nacht-Rhythmus des Melatonins die stärkste Stabilität auf (Reiter, 1997, 33). Welche Rolle Melatonin in der Pubertät spielt, konnte noch nicht geklärt werden. Mit dem Einsetzen der Geschlechtsreife verringert sich die nächtliche Melatoninproduktion deutlich, hier wird ein Zusammenhang vermutet (Lerchl, 2002). Die Melatoninbiosynthese nimmt mit zunehmendem Alter ab (Faller, 2008, 361). Generell weist der Melatoningehalt im Blut keine Geschlechterunterschiede auf, er variiert aber deutlich von Person zu Person (Reiter, 1997, 33).

Die Wirkungen von Melatonin sind scheinbar vielfältig und noch nicht vollständig erforscht. Melatonin spielt eine wesentliche Rolle für die innere Uhr. Es ist für die Regelung des Tag-Nacht-Rhythmus verantwortlich, indem es Müdigkeit und Schlaf fördert (Faller, 2008, 361). Außerdem werden Melatonin immunstimulierende und antioxidative Eigenschaften zugeschrieben (Srinivasan et al., 2008). Möglicherweise trägt Melatonin auch dazu bei, bereits durch freie Radikale geschädigte Zellen zu reparieren (Berra und Rizzo, 2009). Oxidativer Stress, also ein Übermaß an freien Radikalen, wird als Ursache für Krebs und andere Erkrankungen gesehen (Velkov et al., 2009). Eine onkostatistische Wirkung von Melatonin konnte in vivo und in vitro nachgewiesen werden (Jung und Ahmad, 2006). Die genauen Wirkmechanismen sind jedoch noch unklar. Speziell bei der Tumorentwicklung in Brust und Prostata, die mit Geschlechtshormonen in Verbindung gebracht wird, zeigt Melatonin proliferationshemmende Effekte. Durch die Vielzahl der physiologischen

Prozesse, an denen Melatonin vermutlich beteiligt ist, zeigt es sich zunehmend als ein Hormon von interdisziplinärem Interesse. Das Spannungsfeld reicht von Psychiatrie, Immunologie, Onkologie bis zur Reproduktionsmedizin (Jasser et al., 2006).

Das „Hormon der Dunkelheit“ (Korf, 2004, 228) ist als Medikament erhältlich. Scheinbar zeigt eine Melatonineinnahme Wirkung als Schlafmittel, insbesondere bei Schlafstörungen durch Jet-Lag oder Schichtarbeit, und als Antioxidanz, das heißt es soll Erkrankungen vorbeugen und den Alterungsprozess verzögern (Faller, 2008, 361). Auch eine Melatoningabe bei Krebstherapien scheint Erfolge zu erzielen und wird derzeit erforscht.

3.3 Melatonin und Brustkrebs

An etwa 70 Prozent aller Brustkrebstumore befindet sich eine vermehrte Ansammlung von Estrogenrezeptoren (Srinivasan et al., 2008). In diesen Fällen handelt es sich um den Brustkrebstyp Estrogenrezeptor-alpha-positiv ($ER\alpha+$). Die zweite Brustkrebsart ($ER\alpha$ -negativ) spricht nicht auf das Geschlechtshormon Estrogen an. Aromatase ist ein Enzym, das bei Frauen und Männern aus den Hormonen Testosteron und Androstendion Estrogen produziert. Brustkrebszellen sind in der Lage Aromatase herzustellen, die dann diejenigen Estrogene produzieren, die den Tumor wachsen lassen und den Krebs verbreiten. Estrogen kann also als „Treibstoff“ (Arnot, 2000, 39) zur beschleunigten Zellteilung und -Vermehrung fungieren. Dies gilt vor allem für die Estrogenart Estradiol.

Eine Studie ergab, dass Frauen, die nachts arbeiten einen um 56 Prozent reduzierten Melatoninspiegel und ein höheres Estradiollevel haben als Frauen, die nachts keinem Licht ausgesetzt sind (Schernhammer et al., 2004). Daraus kann abgeleitet werden, dass eine nächtliche Hemmung des Melatonins durch Licht mit einem erhöhten Estrogenspiegel einhergeht, der wiederum ein Risikofaktor für Brustkrebs darstellt. Verschiedene Tier- und Zelleexperimente zeigten, dass Melatonin eine schützende Wirkung vor Brustkrebs hat. Indem Melatonin Estrogenrezeptoren an Brustkrebszellen blockiert, hemmt es das Tumorstadium (Blask et al., 2005). Ebenfalls wirkt Melatonin als Aromatasehemmer (Cos et al., 2006) und verhindert so ein Übermaß an Estrogenproduktion. Melatonin weist diverse direkt

und indirekt schützende Eigenschaften in Verbindung mit Krebs auf (Viswanathan und Schernhammer, 2008).

3.4 Bewertung der biologischen Hinweise

Laut aktuellem Stand der Wissenschaft können sich Störungen des zirkadianen Rhythmus, zum Beispiel durch Schichtarbeit, negativ auf Wohlbefinden und Gesundheit ausüben. Die von der Natur nicht vorgesehene nächtliche Beleuchtung könnte eine mögliche Ursache für das höhere Erkrankungsrisiko bestimmter Krankheiten in der industrialisierten Welt sein. Experimente haben gezeigt, dass Melatonin durch Licht in einer bestimmten Helligkeit und Farbtemperatur unterdrückt wird. Personen, die nachts Licht ausgesetzt sind, haben einen geringeren Melatoninspiegel. Den bisherigen Hinweisen nach wirkt Melatonin schützend vor ER α + Brustkrebs und vermutlich vor anderen Erkrankungen, die durch oxidativen Stress entstehen. Für Personen, die häufig nachts arbeiten ist die vollständige Erforschung möglicher Konsequenzen eines niedrigen Melatoninlevels von großer gesundheitlicher Bedeutung.

Weitere Experimente sind notwendig um die vermutete Verbindung zwischen Melatonin und Brustkrebs zu entschlüsseln. Neben Melatonin müssen auch andere Biomarker, wie zum Beispiel Cortisol und Körpertemperatur auf Verbindungen mit Krebs untersucht werden (Erren et al., 2009). Melatonin kann im Blutserum, im Speichel oder als Abbauprodukt 6-Hydroxy-Melatonininsulfat im Urin nachgewiesen werden. Neben Licht kann die Melatoninproduktion auch von der Einnahme bestimmter Medikamente, der Ernährung und von Alkoholkonsum beeinflusst werden (RKI, 2007) sowie von Bewegung (Knight et al., 2005). Ein hoher BMI und starkes Rauchen wirken sich signifikant senkend auf das Melatoninlevel aus (Schernhammer et al., 2006). Daher ist es bisher schwierig, Rückschlüsse aus Messergebnissen zu ziehen. Die genauen biochemischen Wirkweisen des Hormons müssen detailliert erforscht werden. Die Übertragbarkeit der bisherigen Ergebnisse aus dem Reagenzglas und durch Tierexperimente auf den Menschen muss bewiesen werden. Im Anti-Krebsmanagement könnte das Hormon Melatonin eine wichtige Rolle spielen: Sowohl präventiv in natürlicher Synthese, als auch als Medikament unterstützend in Therapien.

Es empfiehlt sich, aus der Tatsache, dass Licht hormonell Einfluss nimmt und biologische Rhythmen verändern kann, präventive Maßnahme für die künftige Beleuchtungsgestaltung abzuleiten und sie als Instrument zur Steigerung des Wohlbefindens zu nutzen.

4 Lichttechnik und Gesundheit - Konsequenzen für die Industrie

Epidemiologische und biologische Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Licht und Gesundheit verdichten sich. Forschungsergebnisse belegen, dass Licht eine Schlüsselrolle für die innere Uhr und die Melatoninproduktion darstellt. Ein durch nächtliches Licht gestörter Hormonrhythmus könnte für die hohe Brustkrebsinzidenz in den Industrieländern mitverantwortlich sein. Folglich sollten Beleuchtungssysteme – vor allem am Arbeitsplatz – darauf ausgerichtet sein den natürlichen hormonellen Rhythmus so wenig wie möglich zu stören. Im Idealfall soll der Einfluss von Licht und Beleuchtung auf den Körper dazu genutzt werden Gesundheit zu fördern. Leistungsfähigkeit und Schlafbedingungen sollen durch Lichtgestaltung optimiert werden. Bisher konzentrierte sich die Entwicklung von Beleuchtungsmethoden vorrangig an visuellen Anforderungen und nicht an photobiologischen Prozessen. Hierbei spielt Finanzierbarkeit und Nachfrage eine Rolle. Die technischen Voraussetzungen für eine physiologische Beleuchtung stehen der Industrie jedoch zur Verfügung. Durch den raschen wissenschaftlichen und technischen Fortschritt könnten Beleuchtungsmethoden, die dem biologischen Rhythmus gerecht werden, bald flächendeckend angewendet werden (Ehrenstein, 2002).

Dieses Kapitel setzt sich zunächst mit den physikalischen Grundlagen von Licht und Beleuchtung auseinander um diese dann auf eine physiologische Lichtgestaltung zu übertragen.

4.1 Grundlagen der Lichttechnik

4.1.1 Licht – was ist das eigentlich?

Licht lässt sich als Hellempfinden definieren (Hentschel, 2002, 1). Es ist eine Form von Energie, die sich in elektromagnetischen Wellen ausbreitet und überträgt (Ris, 2003, 15). Licht ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 Nanometer (nm). Unterhalb dieser sichtbaren Strahlen liegt die ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung). Oberhalb der optischen Strahlen grenzt die infrarote

Strahlung (IR-Strahlung) an. Licht setzt sich in der Regel aus verschiedenen Wellenlängen zusammen, es bildet ein Spektrum. Einzelne Spektralbereiche rufen unterschiedliche Reaktionen in Wechselwirkung mit Materie hervor (Baer, 1996, 14). So kann Licht je nach spektraler Zusammensetzung verschiedene optische und biologische Wirkungen beim Menschen auslösen.

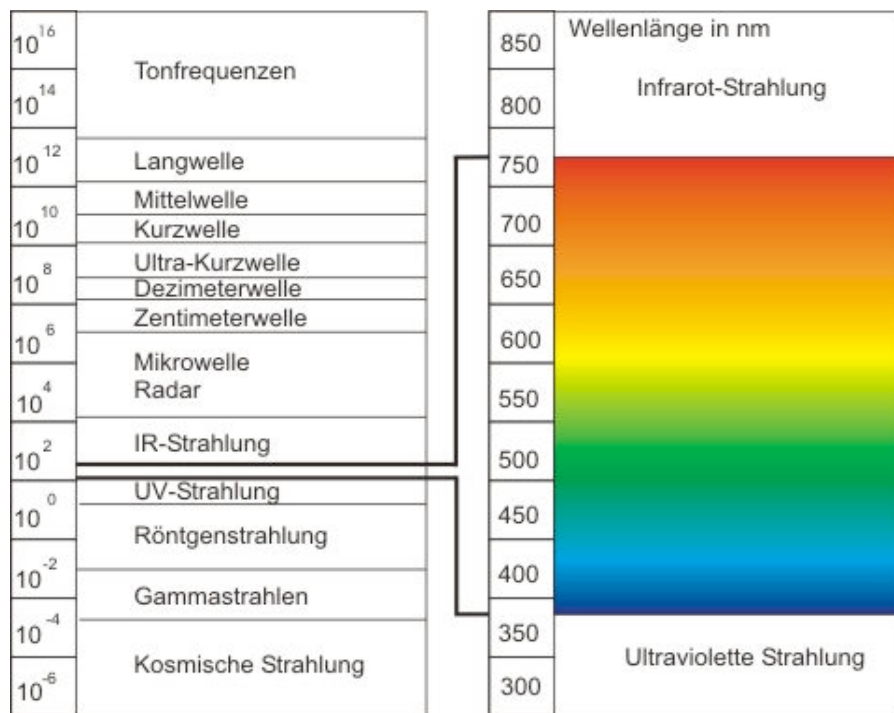


Abbildung 7: Elektromagnetische Wellen (Quelle: Universität Klagenfurt)

Exkurs zum Sonnenlicht

Das meiste Licht auf der Erde stammt von der Sonne, nicht von künstlicher Beleuchtung. Die Strahlung der Sonne, sowohl das Licht als auch die nicht sichtbaren Strahlen, beeinflusst Körper und Psyche in vielfältiger Weise. Wie alle Gegenstände auf der Erde absorbiert die Haut Sonnenstrahlung und reagiert auf diese (Zulley und Knab, 2009, 162). Die infrarote Strahlung der Sonne wird als Wärme wahrgenommen. Die ultraviolette Strahlung ist für Hautbräunung, Hautalterung und Sonnenbrand verantwortlich und kann Hautkrebs verursachen. UV-Strahlen sind auch für die Bildung von Vitamin D im Körper notwendig. Neben körperlichen Einflüssen wirkt Sonnenlicht auch auf die Psyche des Menschen. So kann zu wenig Sonnenlicht zu Verstimmungen bis hin zu Depressionen führen.

4.1.2 Lichttechnische Größen und Einheiten

Um Licht zu beschreiben und Beleuchtung zu planen, rechnet man in der Lichttechnik mit physikalische Größen und Einheiten (Hentschel, 2002). Die Strahlungsleistung wird in der Einheit Watt gemessen. Diese sagt jedoch nichts über den vom Auge empfundenen Helligkeitseindruck des Strahlers aus, der wiederum von der spektralen Zusammensetzung abhängt. Um den Helligkeitseindruck einer Lichtquelle zu bewerten, verwendet man die Größe Lichtstrom. Der Lichtstrom (Einheit: Lumen) ist die von einer Lichtquelle insgesamt in alle Richtungen ausstrahlende sichtbare Lichtleistung. Der Raumwinkel ist ein Maß für die Größe des Lichtkegels, der von einer Lichtquelle auf eine Fläche ausgestrahlt wird (Einheit: Steradian). Er dient zur Ermittlung des Beleuchtungsradius in räumlichen Gebilden. Die Lichtstärke ist ein Maß für die von einer Lichtquelle ausgehende Strahlung in einer bestimmten Richtung (Einheit: Candela). Die Angabe der Lichtstärke ist bei punktförmigen Lichtquellen sinnvoll, nicht für räumlich ausgedehntes Licht. Die Beleuchtungsstärke (Einheit: Lux) ist ein Maß für den auf eine Fläche treffenden Lichtstrom. Sie macht Aussagen über die Leistungsdichte einer Lichtquelle und dient in der Innenraumbelichtung als Dimensionierungsgröße. Die Leuchtdichte (Candela pro m^2) ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den eine leuchtende oder beleuchtete Fläche im Auge erzeugt. Sie spielt bei der Blendung eine wesentliche Rolle.

4.1.3 Lichtfarbe und Farbtemperatur

Licht besteht aus Spektralfarben, die sich aus den Grundfarben zusammensetzen. Durch die additive Farbmischung wird Licht als weiß wahrgenommen. Die Wellenlängen der Strahlen sind ausschlaggebend für das Hellempfinden. Lichtreize mit einer Wellenlänge von etwa 555 nm liegen im grünen Bereich und werden vom Auge heller empfunden als blaues Licht (420 nm) oder rotes Licht (750 nm) (Ris, 2003, 20). Allgemein wirkt blaues Licht kühl und belebend, während rotes Licht als warm und gemütlich empfunden wird (Baer, 1996, 73). Welchen Farbeindruck eine Lichtquelle ausübt, hängt von ihrer Farbtemperatur ab. Die Farbtemperatur von Lichtquellen wird in Kelvin (K) angegeben. Beispielsweise erzeugt das Tageslicht der Sonne etwa 6500 K und eine Kerze 1500 K. Bläuliches Licht hat eine hohe Farbtemperatur und rötliches Licht eine niedrige Farbtemperatur. Man unterschei-

det in der Lichttechnik zwischen tageslichtweißer ($> 5300\text{ K}$), neutralweißer ($3300\text{--}5300\text{ K}$) und warmweißer ($< 3300\text{ K}$) Lichtfarbe.

4.1.4 Lampen – Von der Glühbirne zur Energiesparlampe

Lichtquellen lassen sich entweder der Gruppe der Temperaturstrahler oder der Entladungslampen zuordnen (Hentschel, 2002, 143). Temperaturstrahler erzeugen Licht durch glühende Körper, wie zum Beispiel die Glühbirne und die Halogenglühbirne. Entladungslampen werden auch Fluoreszenzstrahler genannt und bewirken Licht durch elektrische Entladung in Gasen. Sogenannte Energiesparlampen sind Kompaktleuchtstofflampen und gehören zu der Klasse der Entladungslampen.

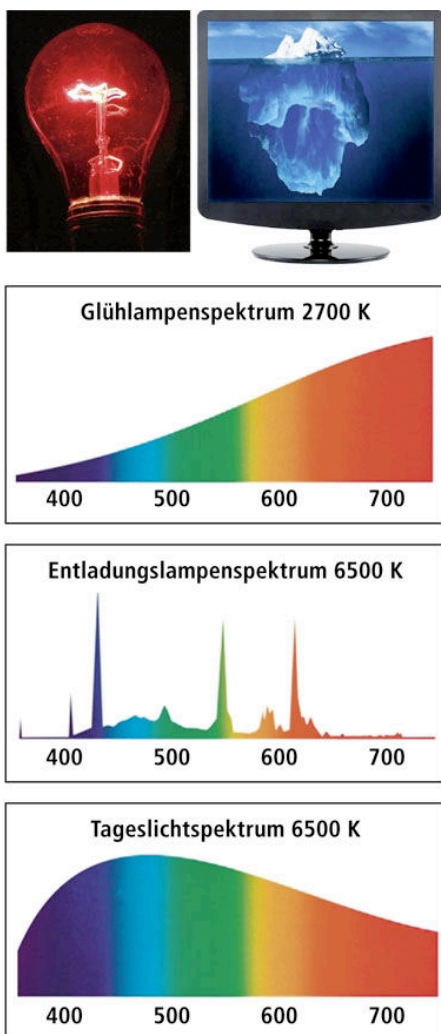


Abbildung 8: Spektrenvergleich verschiedener Lichtquellen (Quelle: WordPress)

Die Glühbirne besitzt einen hohen Strahlungsanteil im infraroten Bereich. Etwa 95 Prozent des Stroms zur Betreibung von Glühbirnen fließt in Wärme statt in Lichterzeugung (Ris, 2003, 63). Sie haben eine geringere Lichtausbeute, eine geringere Lebensdauer und einen höheren Stromverbrauch gegenüber der Leuchtstofflampe. Die Glasröhre der Leuchtstofflampe schließt ein Gasgemisch, inklusive Quecksilber, ein und ist innen mit fluoreszierendem Leuchtstoff beschichtet. Wenn man die Lampe einschaltet, wird UV-Strahlung freigesetzt, die die fluoreszierende Beschichtung zum Leuchten bringt. Die Farbe des erzeugten Lichts hängt von der chemischen Zusammensetzung der Beschichtung ab. Glühlampen haben eine Farbtemperatur von etwa 2700 K , sie erzeugen also eine eher warme Lichtfarbe. Die meisten Leuchtstofflampen spenden dagegen kühles Licht.

Wie in Abbildung 8 zu erkennen ist, ähnelt das kontinuierliche Spektrum einer Glühlampe stärker dem Tageslichtspektrum, als das Linienspektrum von Leuchtstofflampen. Für ihr unnatürliches Spektrum stehen Leuchtstofflampen in der Kritik. Eine kanadische Studie untersuchte Fluoreszenzlampen auf gesundheitliche Auswirkungen hin und konnte weder bei Fluoreszenz-Vollspektrumlampen noch bei Leuchtstofflampen mit Linienspektrum große Effekte feststellen (McColl und Veitch, 2001). Neben Licht geben Leuchtstofflampen auch etwas UV-Strahlung ab. Wie alle elektrischen Geräte erzeugen Lampen elektrische und magnetische Felder. Während Glühlampen Felder im Niederfrequenzbereich erzeugen produzieren manche Leuchtstofflampen auch elektromagnetische Felder im Mittelfrequenzbereich (SCENIHR, 2008). Die Bedeutung der Unterschiede von Glüh- und Leuchtstofflampen für die Gesundheit wird im Folgenden aufgegriffen.

Um Energie zu sparen hat die Europäische Union ein schrittweise in Kraft tretendes Herstellungsverbot von Glühbirnen bis 2012 beschlossen. Als Alternative stehen vor allem Leuchtstofflampen zur Verfügung. Kritiker befürchten ein steigendes Risiko für Gesundheit und Umwelt durch die Umstellung von Glühlampen auf Leuchtstofflampen. Der wissenschaftliche Ausschuss für neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken der Europäischen Union (SCENIHR) hat die Eigenschaften von energiesparenden Kompaktleuchtstofflampen auf mögliche Gesundheitsrisiken hin untersucht. Laut dem 2008 erstellten Gutachten gibt es keine Anzeichen dafür, dass das Flimmern und die von Kompaktleuchtstofflampen erzeugten elektromagnetischen Felder ein Risiko für empfindliche Personen darstellen. Die einzigen Eigenschaften von Energiesparlampen, die ein Gesundheitsrisiko darstellen könnten, sind die UV-Strahlung und blaues Licht, welche von ihnen ausgehen. Innerhalb der EU könnte dies bei etwa 250 000 Menschen, die an seltenen, Lichtüberempfindlichkeit auslösenden Krankheiten leiden, die Symptome verschlimmern. Personen könnten durch UV-Strahlung belastet werden, wenn sie dem Licht bestimmter Kompaktleuchtstofflampen über einen längeren Zeitraum und aus nächster Nähe (weniger als 20 cm) ausgesetzt sind. Daher empfiehlt die Kommission die Verwendung von Energiesparlampen mit doppelter Umhüllung um die Risiken sowohl für die Allgemeinbevölkerung als auch für lichtempfindliche Patienten zu verringern.

Tatsächlich könnte die verbreitete Nutzung von Leuchtstofflampen zu einer noch stärkeren Melatoninunterdrückung bei Personen führen, die nachts dieser Lichtquelle ausgesetzt sind, als das bei Glühlampen der Fall ist. Welches Licht sich wie auf die Melatoninsynthese auswirkt, wird im Abschnitt 4.2 erläutert.

Laut einer von der Firma Siemens in Auftrag gegebenen Studie von 2007 zu Lichttechnikrends in den kommenden 15 Jahren, ist Nachhaltigkeit in der Lampenentwicklung ein zunehmendes Kriterium. Der Einsatz von Leuchtdioden (LED und OLED) wird voraussichtlich ausgeweitet werden. LED sind noch energiesparender als Leuchtstofflampen und vielfältig einsetzbar, mittlerweile auch als Glühlampenersatz (Ris, 2003, 120).

4.2 Auswirkungen bestimmter Lichtquellen auf den Melatoninspiegel

Wissenschaftliche Experimente haben gezeigt, dass ein starker Blauanteil in Lichtquellen ausschlaggebend für die Melatoninunterdrückung ist. Blaues, kurzwelliges Licht hemmt Melatonin stärker als rote, langwellige Lichtstrahlen. Sonnenlicht und die meisten Leuchtstofflampen spenden Licht mit hohen Blauanteilen und wirken somit melatoninsuppressiv. Eine Lichtquelle unter 2700 K bis 3000 K hemmt die Melatoninherstellung in der Zirbeldrüse dagegen kaum. Das gilt zum Beispiel für Feuer, Kerzen, viele Glühlampen und warmweiße Leuchtstofflampen. Das Aktionsspektrum der höchsten Melatoninsuppression durch Licht liegt bei 446 bis 477 nm (Brainard et al., 2001). In diesem Bereich reicht weniger als 1 Lux monochromatischen Lichts um das Hormon zu unterdrücken (Glickman et al., 2002).

Forscher haben in Experimenten versucht, die Erkenntnisse über Beleuchtung und Melatonin für Nachtarbeiter und Nachtarbeiterinnen anzuwenden. Eine Studie zeigte, dass durch tragen spezieller Linsen, die jede Strahlung unterhalb von 530 nm herausfiltern, eine Melatoninproduktion trotz Nachtarbeit gewährleistet werden kann (Kayumov et al., 2007). Andere Forscher kamen zu ähnlichen Ergebnissen in Versuchen mit speziellen Brillen mit gelblich getönten Gläsern sowie mit Lampen ohne blaue Lichtanteile (Alpert et al., 2009).

Die Herausforderung besteht darin, Beleuchtungskonzepte zu entwickeln, die so konzipiert sind, dass einerseits die nächtliche Melatoninproduktion möglichst wenig gehemmt wird, andererseits die Leistungsfähigkeit der Arbeitenden gewährleistet ist. Firmen haben bereits auf der Grundlage der neuen biologischen Erkenntnisse Beleuchtungskonzepte entwickelt, die auf den menschlichen Rhythmus von Aktivität und Entspannung abgestimmt sind.

4.3 Dynamisches Licht – Eine Lösung

Allgemein ist anerkannt, dass das natürliche Tageslicht wichtig für Gesundheit und Leistungsbereitschaft ist (Ris, 2003, 215). Das Sonnenlicht ist daher jeder künstlichen Beleuchtung vorzuziehen. Sonnenlicht weist eine natürliche Dynamik auf. Ein Lichtmanagement, das den zirkadianen Rhythmus unterstützt, sollte die natürlichen Tageslichtverhältnisse imitieren. Geht die Sonne unter, sollte sich die Beleuchtung diesem Vorgang anpassen und von bläulichem Licht in eine warmweiße Lichtfarbe wechseln (Morita und Tokura, 1998). Aktivierendes blaues Licht und entspannendes rotes Licht können in Intervallen abgewechselt werden: Entweder in großen Tag-Nacht-Rhythmen, in kleineren Intervallen oder auch individuell einstellbar nach persönlichen Vorlieben. Laut Studien hebt eine

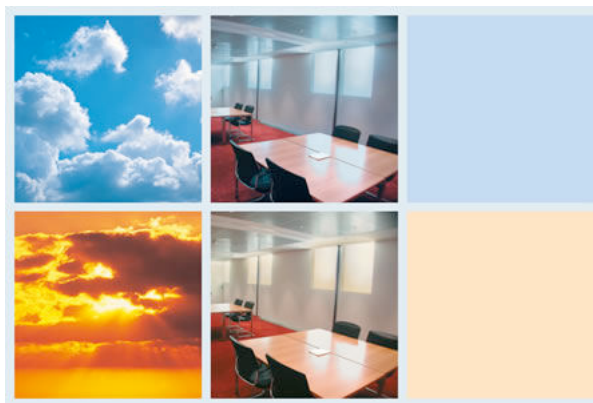


Abbildung 9: Dynamisches Licht (Quelle: Osram)

dynamische Beleuchtung in Innenraumbüros subjektiv die Stimmung (Hoffmann et al., 2008).

Ideal ist ein computergesteuertes Lichtsystem, das die tageszeitlichen und saisonalen Lichtverhältnisse der Umwelt in den Innenraum überträgt. Diese neuen Lichtkonzepte, die

Sehansprüche, Wohlbefinden und Unterstützung des natürlichen zirkadianen Zyklus in Einklang bringen sollen, wurden bereits für Arbeitsstätten konzipiert.

Moderne Lichtmanagement-Systeme können Licht zu verschiedenen Zeitpunkt in unterschiedlicher Dosis zu Verfügung stellen. Um dynamisches Licht zu schaffen, müssen Leuchten verwendet werden, mit denen Intensität, Farbe und Streuung

des Lichts verändert werden kann. Diese Leuchten sind mit mindestens zwei verschieden farbigen Lampen ausgestattet, die an digitale Vorschaltgeräte angeschlossen sind. Das Beleuchtungsniveau kann mit Hilfe von Lichtsensoren an einzelnen Leuchten, von Lichtsensoren im Raum und über Außenlichtsensoren geregelt werden. Das Licht wird für Einzelleuchten, für einen Raum oder auch für mehrere Räume programmiert. Für eine individuelle Handhabung sollte es auch per Fernbedienung oder Taster regelbar sein. Der computergesteuerte Übergang zwischen verschiedenen Farbtemperaturen kann so fließend sein, dass er nicht bewusst wahrgenommen wird. Entsprechende Leuchten können zwischen einer Farbtemperatur von 2700 K und 6500 K oder sogar 8000 K variieren. Auf dem Markt gibt es bereits dynamische Lichtsysteme für Großräume und für Einzelarbeitsplätze. Dynamisches Licht wird derzeit erstmals in einigen Gebäuden eingesetzt, beispielsweise in Büros, Handwerksbetrieben, Schulen oder Seniorenheimen.

4.4 Bewertung von Beleuchtungskonzepten

Es ist allgemein anerkannt, dass eine gute Beleuchtung das Wohlbefinden, die Leistungsbereitschaft und die Arbeitssicherheit fördert. Studien haben hinlänglich gezeigt, dass die Produktivität bei der Arbeit mit einer hohen Beleuchtungsstärke steigt, Fehler abnehmen und Ermüdung später einsetzt (Ris, 2003, 49). Durch die Entdeckung, dass Licht durch das Auge aufgenommen den Menschen physisch und psychisch beeinflusst, erhält Lichtplanung eine neue, gesundheitliche Komponente. Um biologischen Ansprüchen gerecht zu werden, muss nicht nur auf die Beleuchtungsstärke (Lux), sondern auch auf die Farbtemperatur (Kelvin) einer Kunstlichtquelle geachtet werden. Nachts muss Kunstlicht verwendet werden, dass sich spektral von den Lichtquellen bei Tag unterscheidet. Eine physiologische Beleuchtung für Innenräume sollte sich am Spektrum der Sonne orientieren und eine Dimmfunktion für Abend- und Nachtlicht beinhalten. Sind Personen nachts Kunstlicht ausgesetzt, sollte dieses eine warmweiße Lichtfarbe ohne starken Blauanteil haben um nicht hormonelle Rhythmen im Körper zu stören und mögliche Folgerisiken zu minimieren. Moderne Lichtmanagement-Systeme sind in der Lage zwischen rotem und blauem Licht zu wechseln und so eine naturähnliche, dynamische Beleuchtung zu produzieren.

Der Umgang mit Beleuchtung ist in Deutschland durch Verordnungen und Normierungen festgelegt. Zu den Normen der Lichtplanung gehören die DIN 5035 „Beleuchtung mit künstlichem Licht“ und die DIN EN 12464-1:2003 „Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten“. Diese Norm beschreibt die Hauptmerkmale des Lichtklimas wie Leuchtdichteverteilung, Beleuchtungsstärke, Blendung, Lichtrichtung, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Flimmern und Tageslicht. Sie behandelt „die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen unter Berücksichtigung der Sehleistung und des Sehkomforts“ (DIN EN 12464-1:2003). Biologische Aspekte der Lichtplanung werden in den Normen bisher nicht aufgegriffen. Vordergründig geht es in der Lichttechnik um Sehoptimierung, mittlerweile auch um Energieeinsparung.

Entscheidungssträger und Endverbraucher sollten sich mit Beleuchtung und ihren möglichen gesundheitlichen Auswirkungen stärker auseinandersetzen. Auch wenn in der Forschung zum Einfluss von Licht auf die Gesundheit des Menschen noch Lücken zu schließen sind, reichen die aktuellen Hinweise aus um Maßnahmen in der Lichttechnik zu ergreifen. Aus gesundheitswissenschaftlicher Sicht ist der Aspekt der biologischen Wirkung von Licht auf den zirkadianen Rhythmus in die Beleuchtungsplanung einzubinden.

5 Diskussion und Ausblick

Seit jeher wird dem Licht der Sonne eine Heilkraft zugesprochen. Ähnliches gilt für den nächtlichen Schlaf. In modernen Gesellschaften werden diese natürlichen Erholungsquellen immer weniger genutzt. Weltweit leben Menschen zunehmend unter dem Einfluss von künstlicher Beleuchtung. Laut der Melatonin-Hypothese könnte sogar die Verbreitung von Krebs mit der globalen Anwendung von Kunstlicht zusammenhängen. Die anatomische Basis der biologischen Wirkungen von Licht auf den Menschen bilden spezielle Photorezeptoren im Auge, die erst vor kurzem entdeckt wurden. Das Schlafhormon Melatonin kann durch Licht über das Auge unterdrückt werden. Es hat sich gezeigt, dass Licht und Melatonin eine wesentliche Rolle für den zirkadianen Rhythmus spielen. Ebenfalls weist Melatonin mehrere Eigenschaften auf, die vor Brust- und Prostatakrebs schützen können. Durch Nachtarbeit und sonstige nächtliche Lichtexposition könnten also tumorprotektive und immunstimulierende Prozesse im Körper gestört werden.

Es ist bekannt, dass die lichtabhängige Hemmung der Melatoninsynthese nicht das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichtes umfasst. Während blaues (kurzwelliges) Licht eine vollständige Blockade der Melatoninfreisetzung aus der Zirbeldrüse zur Folge hat, reagiert der Körper auf rotes (langwelliges) Licht kaum mit einer Unterdrückung der Hormonsynthese. Aus diesen biologischen Erkenntnissen kann man schließen, dass ein bewusster Einsatz bestimmter Lichtquellen notwendig ist um Gesundheit zu schützen und zu fördern.

Unabhängig von der noch ungeklärten Licht-Krebs-These, nimmt Licht Einfluss auf Lebensgefühl und Wohlbefinden. Gesundheits-, Körper- und Umweltbewusstsein liegen im Trend. Zunehmend wird sich das auf die Lichttechnik auswirken. Allgemein wachsen Ansprüche nicht nur an Funktionalität, sondern auch an Design. Mit entsprechender Lichtplanung kann ästhetisches und emotionales Empfinden gezielt angesprochen werden. Durch den Gewinn der photobiologischen Erkenntnisse besteht die Möglichkeit, Beleuchtung zweckdienlich und angenehm zu gestalten. Das Potential eines biologischen Lichtdesigns wird gerade erst erkannt. Die Anwendungsmöglichkeiten sind unbegrenzt und liegen neben Arbeitsplätzen und

Haushalten zum Beispiel in Schulen zur Konzentrationsförderung und in Krankenhäusern zu Unterstützung der Genesung.

5.1 Nächste Schritte in der Forschung

Der derzeit geltende Stand der Wissenschaft laut IARC besagt, dass Schichtarbeit „wahrscheinlich“ krebserregend ist. Aus Public Health Sicht ist es von Bedeutung die Hypothese, dass Licht bei Nacht das Krebsrisiko erhöht, zu verifizieren oder zu falsifizieren. Auswirkungen von Beleuchtung auf Arbeitsplätzen und in Haushalten sowie von Straßenbeleuchtung, Fernsehen, Computerbildschirmen und Leuchtreklamen müssen weiter untersucht werden.

Die Liste der offenen Fragen und somit der ausstehenden Forschung ist noch lang. Durch epidemiologische Studien und wissenschaftliche Experimente muss Folgendes differenziert werden: Wie hoch ist das Erkrankungsrisiko bei welcher Form von Schichtarbeit? Welche Lichtdosis kann wann als schädlich definiert werden? Welche Faktoren könnten neben dem Licht noch für das erhöhte Krebsrisiko bei Nachtarbeiterinnen und Nachtarbeitern verantwortlich sein? Welche unterschiedlichen biologischen Bewältigungsstrategien bringen Individuen mit, um bei einer Exposition nicht zu erkranken?

Die Bearbeitung des Themengebiets verlangt Interdisziplinarität. Eine Zusammenarbeit von Medizinern, Biologen, Physikern, Gesundheitswissenschaftlern, Arbeitswissenschaftlern und Lichttechnikern ist angebracht. Den möglichen Zusammenhang zwischen Beleuchtung bei Nacht und Krebs sowie anderen Erkrankungen zu ermitteln, kann als globale Herausforderung der Zukunft betrachtet werden.

5.2 Prävention und Gesundheitsförderung durch Licht

Das Potential von Beleuchtung in Hinblick der Wirkung auf den zirkadianen Rhythmus muss von betreffenden Akteuren erkannt und genutzt werden. Führende Forscher empfehlen, bereits während der Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für ein gesundheitsförderndes Lichtmanagement, präventiv tätig zu werden (Erren et al., 2009).

In jedem Fall wirkt es sich positiv auf die Gesundheit aus, nicht gegen den inneren Rhythmus zu leben (Bartsch und Bartsch, 2006). Kann man nicht jegliche Nacht-

arbeit abschaffen, so sollte sie möglichst gesundheitsfördernd gestaltet werden. Neben Lichtsystemen sollten auch Ernährung und Schichtpläne nach neusten Erkenntnissen der Arbeits- und Gesundheitswissenschaften gestaltet werden. Da herkömmliche Beleuchtung als möglicherweise gesundheitsschädigend identifiziert wurde, sollte ein physiologisches Lichtdesign implementiert werden.

Während eine Lichtquelle bei Tag hell und aktivierend sein darf, sollte sie nachts gedimmt werden können und eine rote, bzw. warmweiße Lichtfarbe annehmen. Eine dynamische, dem Tageslicht ähnliche Beleuchtung wirkt sich nach aktuellem Stand am positivsten auf den Menschen aus. Bereits in der Architektur sollte eine biologische Lichtplanung berücksichtigt werden.

5.3 Fazit

„Meine Sympathien gehören dem Lichtplaner, der behauptet: Je länger wir Lampen ausgeschaltet lassen, desto wohler fühlen wir uns und desto weniger Energie verschwenden wir.“
(I. Ritchi, Architekt. In: U. Brandi „Lichtbuch“, 2001)

Licht kann sich schädigend und förderlich auf die Gesundheit auswirken – es kommt auf die Dosierung und die Lichtbeschaffenheit an. In Anbetracht wachsender Kunstlichtnutzung weltweit sollten die Einflüsse von Beleuchtung stärker erforscht werden. Da man herausgefunden hat, dass Licht Einfluss auf das Hormonsystem hat, ist Beleuchtung als ein Faktor zu betrachten, der die Gesundheit mitbestimmt. Biologische Aspekte sollten in der künftigen Lichtgestaltung neben Sehkomfort und Energieeinsparung im Fokus stehen. Bereits das bisherige Wissen über die Verbindung zwischen Licht und Gesundheit sollte zur flächendeckenden Anwendung einer Lichttechnik führen, die auf physiologische Ansprüche eingeht und das Wohlbefinden fördert.

6 Literaturverzeichnis

- Alpert, M., Carome, E., Kubulins, V., & Hansler, R. (2009). Nighttime use of special spectacles or light bulbs that block blue light may reduce the risk of cancer. *Med Hypotheses*.
- Annot, R. (2000). *Das Anti-Brustkrebs-Buch*. München: Piper Verlag GmbH.
- Aschoff, J., & Wever, R. (1962). Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluß aller Zeitgeber. *Naturwissenschaften*, 13, 361-367.
- Baer, R. (1996). *Beleuchtungstechnik Grundlagen*. Berlin: Verlag Technik GmbH.
- Bartsch, C., & Bartsch, H. (2006). The anti-tumor activity of pineal melatonin and cancer enhancing life styles in industrialized societies. *Cancer Causes Control*, 17(4), 559-571.
- Berra, B., & Rizzo, A. M. (2009). Melatonin: circadian rhythm regulator, chronobiotic, antioxidant and beyond. *Clin Dermatol*, 27(2), 202-209.
- Blask, D. E. (2008). Melatonin, sleep disturbance and cancer risk. *Sleep Med Rev*.
- Blask, D. E., Brainard, G. C., Dauchy, R. T., Hanifin, J. P., Davidson, L. K., Krause, J. A., Sauer, L. A., Rivera-Bermudez, M. A., Dubocovich, M. L., Jasser, S. A., Lynch, D. T., Rollag, M. D., & Zalatan, F. (2005). Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats. *Cancer Res*, 65(23), 11174-11184.
- Bogacki, R. A. (1999). *Zeit - Ihre Auswirkungen auf menschliches Erleben und das Leben: Wie Zeit und Rythmen unsere Existenz bestimmen*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Borugian, M. J., Gallagher, R. P., Friesen, M. C., Switzer, T. F., & Aronson, K. J. (2005). Twenty-four-hour light exposure and melatonin levels among shift workers. *J Occup Environ Med*, 47(12), 1268-1275.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*, 21(16), 6405-6412.
- Brainard, G. C., Sliney, D., Hanifin, J. P., Glickman, G., Byrne, B., Greeson, J. M., Jasser, S., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2008). Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light. *J Biol Rhythms*, 23(5), 379-386.
- Brandi, U. (2001). *Lichtbuch: Die Praxis der Lichtplanung*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Campbell, S. S., & Murphy, P. J. (1998). Extraocular circadian phototransduction in humans. *Science*, 279(5349), 396-399.
- Chlebowski, R. T., Hendrix, S. L., Langer, R. D., Stefanick, M. L., Gass, M., Lane, D., Rodabough, R. J., Gilligan, M. A., Cyr, M. G., Thomson, C. A., Khandekar, J., Petrovitch, H., & McTieran, A. (2003). Influence of estrogen plus progestin on breast cancer and mammography in healthy postmenopausal women: the Women's Health Initiative Randomized Trial. *JAMA*, 289(24), 3243-3253.
- Cos, S., Gonzalez, A., Martinez-Campa, C., Mediavilla, M. D., Alonso-Gonzalez, C., & Sanchez-Barcelo, E. J. (2006). Estrogen-signaling pathway: a link between breast cancer and melatonin oncostatic actions. *Cancer Detect Prev*, 30(2), 118-128.
- Davis, S., & Mirick, D. K. (2006). Circadian disruption, shift work and the risk of cancer: a summary of the evidence and studies in Seattle. *Cancer Causes Control*, 17(4), 539-545.

- Davis, S., Mirick, D. K., & Stevens, R. G. (2001). Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. *J Natl Cancer Inst*, 93(20), 1557-1562.
- Ehrenstein, W. (2002). Das Licht stellt die innere Uhr des Menschen - Konsequenzen für die Lichtnutzung und Lichttechnik. Paper präsentiert bei TUB Symposium "Licht und Gesundheit", Berlin.
- Erren, T. C. (2002). Does light cause internal cancers? The problem and challenge of an ubiquitous exposure. *Neuro Endocrinol Lett*, 23 Suppl 2, 61-70.
- Erren, T. C., Morfeld, P., Stork, J., Knauth, P., von Mulmann, M. J., Breitstadt, R., Müller, U., Emmerich, M., & Piekarski, C. (2009). Shift work, chronodisruption and cancer?-the IARC 2007 challenge for research and prevention and 10 theses from the Cologne Colloquium 2008. *Scand J Work Environ Health*, 35(1), 74-79.
- Erren, T. C., Pape, H. G., Reiter, R. J., & Piekarski, C. (2008). Chronodisruption and cancer. *Naturwissenschaften*, 95(5), 367-382.
- Erren, T. C., & Reiter, R. J. (2009). Defining chronodisruption. *J Pineal Res*.
- European Network of Cancer Registries. (2002). Breast Cancer in Europe. *Cancer Fact Sheets*, 2.
- Faller, A. (2008). *Der Körper des Menschen: Eine Einführung in Bau und Funktion*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Filipski, E., King, V. M., Li, X., Granda, T. G., Mormont, M. C., Claustrat, B., Hastings, M. H., & Levi, F. (2003). Disruption of circadian coordination accelerates malignant growth in mice. *Pathol Biol (Paris)*, 51(4), 216-219.
- Gesundheitsberichterstattung des Bundes. (2006). Brustkrebs (Heft 25). Robert Koch-Institut.
- Gesundheitsberichterstattung des Bundes. (2008). Krebs in Deutschland - Häufigkeiten und Trends 2003-2004. Robert Koch-Institut.
- Glickman, G., Levin, R., & Brainard, G. C. (2002). Ocular input for human melatonin regulation: relevance to breast cancer. *Neuro Endocrinol Lett*, 23 Suppl 2, 17-22.
- Grant, S. G., Melan, M. A., Latimer, J. J., & Witt-Enderby, P. A. (2009). Melatonin and breast cancer: cellular mechanisms, clinical studies and future perspectives. *Expert Rev Mol Med*, 11, e5.
- Greenstein, B., & Raue, F. (1996). *Endokrinologie*. Berlin; Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag.
- Hansen, J. (2006). Risk of breast cancer after night- and shift work: current evidence and ongoing studies in Denmark. *Cancer Causes Control*, 17(4), 531-537.
- Hentschel, H. J. (2002). *Licht und Beleuchtung: Theorie und Praxis der Lichttechnik*. Heidelberg: Hüthig GmbH & Co.
- Hoffmann, G., Gufler, V., Griesmacher, A., Bartenbach, C., Canazei, M., Staggl, S., & Schobersberger, W. (2008). Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office workplace. *Appl Ergon*, 39(6), 719-728.
- Light's Labours Lost - Fact Sheet. International Energy Agency. Eingesehen am 05. Mai. 2009, from http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/light_fact.pdf.
- International Labour Organization. (2004). Shift Work. Information Sheet, 8.
- Jasser, S. A., Blask, D. E., & Brainard, G. C. (2006). Light during darkness and cancer: relationships in circadian photoreception and tumor biology. *Cancer Causes Control*, 17(4), 515-523.

- Jung, B., & Ahmad, N. (2006). Melatonin in cancer management: progress and promise. *Cancer Res*, 66(20), 9789-9793.
- Kayumov, L., Lowe, A., Rahman, S. A., Casper, R. F., & Shapiro, C. M. (2007). Prevention of melatonin suppression by nocturnal lighting: relevance to cancer. *Eur J Cancer Prev*, 16(4), 357-362.
- Kloog, I., Haim, A., Stevens, R. G., & Portnov, B. A. (2009). Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men. *Chronobiol Int*, 26(1), 108-125.
- Knight, J. A., Thompson, S., Raboud, J. M., & Hoffman, B. R. (2005). Light and exercise and melatonin production in women. *Am J Epidemiol*, 162(11), 1114-1122.
- Kollig, M. (2006). Gesundheitsgerechte Gestaltung von Schichtarbeit. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. *Bundesarbeitsblatt*, 1, 13-22.
- Korf, H. W. (2004). Endokrines System. In A. Benninghof, & D. Drenckhahn (Eds.), *Anatomie*. München: Urban und Fischer in Elsevier.
- Lerchl, A. (2002). Die Melatonin-Hypothese. Forschungsgemeinschaft Funk e. V. Edition Wissenschaft, 16.
- Licht Akademie. (2000). Licht - die Quelle für Gesundheit und Wohlbefinden. *MedAmbiente*.
- Marsden, I. (1999). Im Biorhythmus zum Erfolg: naturgemäß leben und mehr leisten. Berlin: Urania Verlag.
- McColl, S. L., & Veitch, J. A. (2001). Full-spectrum fluorescent lighting: a review of its effects on physiology and health. *Psychol Med*, 31(6), 949-964.
- Mirick, D. K., & Davis, S. (2008). Melatonin as a biomarker of circadian dysregulation. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 17(12), 3306-3313.
- Morita, T., & Tokura, H. (1998). The influence of different wavelengths of light on human biological rhythms. *Appl Human Sci*, 17(3), 91-96.
- Pauley, S. M. (2004). Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Med Hypotheses*, 63(4), 588-596.
- Philips AEG Licht (2004). Dynamische Beleuchtung für Büroräume. Paper präsentiert bei LICHT 2004, Dortmund.
- Pukkala, E., Ojamo, M., Rudanko, S. L., Stevens, R. G., & Verkasalo, P. K. (2006). Does incidence of breast cancer and prostate cancer decrease with increasing degree of visual impairment. *Cancer Causes Control*, 17(4), 573-576.
- Reiter, R. J. (1997). Melatonin Biosynthesis, Regulation, and Effects. In R. G. Stevens, B. W. Wilson, & L. E. Anderson (Eds.), *The Melatonin Hypothesis: Breast Cancer and Use of Electric Power*. USA: Battelle Press.
- Ris, H. R. (2003). *Beleuchtungstechnik für Praktiker: Grundlagen - Lampen - Leuchten - Planung - Messung*. Berlin: VDE Verlag GmbH.
- Robert Koch-Institut. (2007). Melatonin in der umweltmedizinischen Diagnostik im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern (EMF). *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*, 12(3), 181-184.
- Sahar, S., & Sassone-Corsi, P. (2007). Circadian clock and breast cancer: a molecular link. *Cell Cycle*, 6(11), 1329-1331.
- Schernhammer, E. S., & Hankinson, S. E. (2009). Urinary melatonin levels and postmenopausal breast cancer risk in the Nurses' Health Study cohort. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 18(1), 74-79.

- Schernhammer, E. S., Kroenke, C. H., Dowsett, M., Folkard, E., & Hankinson, S. E. (2006). Urinary 6-sulfatoxymelatonin levels and their correlations with lifestyle factors and steroid hormone levels. *J Pineal Res*, 40(2), 116-124.
- Schernhammer, E. S., Laden, F., Speizer, F. E., Willett, W. C., Hunter, D. J., Kawachi, I., & Colditz, G. A. (2001). Rotating night shifts and risk of breast cancer in women participating in the nurses' health study. *J Natl Cancer Inst*, 93(20), 1563-1568.
- Schernhammer, E. S., Rosner, B., Willett, W. C., Laden, F., Colditz, G. A., & Hankinson, S. E. (2004). Epidemiology of urinary melatonin in women and its relation to other hormones and night work. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 13(6), 936-943.
- Seifert, H. (2005). Zeit für neue Arbeitszeiten. Hans Böckler Stiftung. WSI Mitteilungen, 8, 478-483.
- Siemens. (2007). Lichtquellen der Zukunft. Inovation News.
- Spork, P. (2004). Das Uhrwerk der Natur. Chronobiologie - Leben mit der Zeit. Reinbek bei Hamburg: Rohwolt Verlag.
- Srinivasan, V., Spence, D. W., Pandi-Perumal, S. R., Trakht, I., Esquifino, A. I., Cardinali, D. P., & Maestroni, G. J. (2008). Melatonin, environmental light, and breast cancer. *Breast Cancer Res Treat*, 108(3), 339-350.
- Stevens, R. G. (2009). Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *Int J Epidemiol*.
- Stevens, R. G., Blask, D. E., Brainard, G. C., Hansen, J., Lockley, S. W., Provencio, I., Rea, M. S., & Reinlib, L. (2007). Meeting report: the role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases. *Environ Health Perspect*, 115(9), 1357-1362.
- Straif, K., Baan, R., Grosse, Y., Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Altieri, A., Benbrahim-Tallaa, L., & Coglianò, V. (2007). Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol*, 8(12), 1065-1066.
- Thapan, K., Arendt, J., & Skene, D. J. (2001). An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol*, 535(Pt 1), 261-267.
- The Nurses' Health Study. Eingesehen am 24. Juni 2009. <http://www.channing.harvard.edu/nhs/>.
- van Bommel, W. J. M., & van den Beld, G. (2004). Beleuchtung am Arbeitsplatz: Biologische und visuelle Effekte. Philips Lighting.
- Velkov, Z. A., Velkov, Y. Z., Galunska, B. T., Paskalev, D. N., & Tadjer, A. V. (2009). Melatonin: Quantum-chemical and biochemical investigation of antioxidant activity. *Eur J Med Chem*, 44(7), 2834-2839.
- Viswanathan, A. N., & Schernhammer, E. S. (2008). Circulating melatonin and the risk of breast and endometrial cancer in women. *Cancer Lett*.
- Wegscheider Hyman, J. (1993). Licht und Gesundheit - Wie natürliches und künstliches Licht den Menschen beeinflussen. Reinbek bei Hamburg: Rohwolt Verlag.
- Energiesparlampen und Gesundheit. Wissenschaftlicher Ausschuss für neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken der Europäischen Kommission. Eingesehen am 09. Juli 2009. <http://copublications.greenfacts.org/de/energiesparlampen/>.
- Zulley, J., & Knab, B. (2009). Unsere Innere Uhr - Natürliche Rhythmen nutzen und der Non-Stop-Belastung entgehen. Frankfurt am Main: Mabuse-Verlag.

Danksagung

Folgende Personen, die die Entstehung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben, seien an dieser Stelle begrüßt in Dankbarkeit:

Meine Schwester Katrin Bergholz für ihr klares Denken und ihre Ermunterungen;

Meine Eltern Dr. Iva Bergholz und Dr. Eckhart Bergholz für die finanzielle Unterstützung und die interessierte Anteilnahme während meiner gesamten Studienzeit;

Meine Betreuer Prof. Dr. Dr. Wehkamp und Prof. Lohmann für ihren inspirierenden Sinn für Zeitgeist;

Mein Freund Ben Bernschneider und meine Freunde für Geduld, Verständnis und offene Ohren.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, 25. August 2009

Marie Bergholz