



ABBILDUNG 9.1:

Hell erleuchtete Straße in einer Großstadt aus der Perspektive eines Autofahrers. Die in der rechten Bildhälfte herrschende Lichtintensität entspricht einem visuellen „Tag“-Signal für den Biorhythmus.

*„... wie zum Leben alles Organischen nicht
nur Licht, sondern auch Dunkel gehört.“
(Friedrich Nietzsche)*

9

LICHT AUF DIE INNERE UHR

von Christian Cajochen

9.1 Der zirkadiane Rhythmus

Der natürliche Licht-Dunkelwechsel ist der regelmäßigste Umweltreiz, der seit Beginn des Lebens auf der Erde vor über 3.5 Milliarden Jahren auf der genetischen wie auch auf der Verhaltensebene deutliche Spuren hinterlassen hat. Laut archäologischen Befunden nutzten unsere Ahnen vor etwa 500.000 Jahren erstmals offenes Feuer und somit auch Kunstlicht. Ein rasanter Wandel vom Feuer über Gas hin zur Elektrizität begann erst in den letzten beiden Jahrhunderten (vgl. Kap. 1) und gipfelt zurzeit in der Entwicklung von modernen LED-Lichtquellen. Überall vertreibt Kunstlicht heute die Dunkelheit, nicht ohne Konsequenzen für die Gesundheit des Menschen. Trotz aller technisch noch so raffinierter Kunstlichtquellen schlafen die meisten Menschen immer noch vorwiegend nachts und sind tagsüber aktiv. Klar, man arbeitet oder verbringt die Freizeit lieber, wenn es hell ist, und schläft, wenn es draußen dunkel und ruhiger wird. Schichtarbeitende, die während der Nacht arbeiten müssen, werden dafür sogar noch besser entlohnt. Für alle Lebewesen, einschließlich des Menschen, gibt es genau festgelegte Zeiten und „Unzeiten“ für bestimmte Verhaltensweisen, wie zum Beispiel Schlafen oder Wachsein. Unser Schlaf-Wach-Verhalten wird nicht einfach durch den (künstlichen) Hell-Dunkel-Wechsel dirigiert oder völlig bewusst von uns gesteuert, sondern unterliegt dem Diktat einer inneren Uhr, die

endogen (= von innen kommend) und autonom für die Steuerung der Tagesrhythmik (= Zirkadian-Rhythmik; von *circa diem*: ungefähr ein Tag) verantwortlich ist. Diese Rhythmik hat sich im Verlaufe der Evolution mit dem Ziel entwickelt, den natürlichen Licht-Dunkelwechsel zu antizipieren – quasi zu verinnerlichen, um physiologische sowie biochemische Prozesse optimal auf den Licht-Dunkelwechsel abzustimmen.

9.2 Die innere Uhr tickt autonom

Einen schönen Beweis für die autonome Aufrechterhaltung der Schlaf-Wach-Rhythmik lieferte der Höhlenforscher Michel Siffre 1962, als er mit einer Stirnlampe und dem Nötigsten zum Überleben ausgerüstet 60 Tage in einer 120 m tiefen Höhle in den französischen Alpen verbrachte. Obwohl Siffre keine Zeitinformation besaß und der regelmäßige Tageslichtwechsel nicht zu ihm nach unten drang, schlief er zeitlich nicht zufällig, sondern folgte dem zirkadianen Ticken seiner inneren Uhr [1]. Wie in Abbildung 9.1 deutlich zu sehen ist, ging er praktisch jeden Tag etwas später ins Bett und stand auch dementsprechend später auf. Er folgte einem Rhythmus, der länger als 24 Stunden war und in seinem Fall etwa 24,5 Stunden betrug. Sein „Tag“ dauerte im Durchschnitt also eine halbe Stunde länger als der solare Tag, was für die meisten Menschen typisch ist. Man nimmt an, dass bei etwa 80 % der Menschen die endogene Zirkadian-Periodik mehr als 24 Stunden beträgt. Michel Siffre realisierte dies nicht bewusst, und unterschätzte seine Gesamtaufenthaltsdauer in der Höhle. Als ihn sein Forschungsteam nach 60 Tagen Höhlenaufenthalt am 14. September 1962 nach oben holen wollte, meinte er, es sei noch zu früh und es sei erst der 20. August. Seine subjektiven Höhlentage schrumpften von 60 auf 35 Tage, was sicher mit der Kompression des Zeitempfindens und dem verlängerten biologischen Tag (24,5 Stunden) unter solchen Bedingungen zu tun hat.

Etwa ein Jahrzehnt nach Siffres ersten Höhlenexperimenten entdeckten Forscher aus den USA [2], dass ein bestimmtes Hirngebiet, die sogenannten suprachiasmatischen Kerne (SCN), die beim Menschen ca. 2–3 cm hinter der Nasenwurzel im vorderen Hypothalamus liegen, die Quelle der Zirkadian-Rhythmik sind. Diese etwa reiskorngroße Hirnstruktur liegt über der Kreuzungsstelle der Sehnerven und fungiert als zentrale Schaltstelle für die innere Uhr. Ähnlich dem Schrittmacher im Herzen, der ca. 60–80 Impulse pro Minute abgibt, geben Nervenzellen in den SCN eine Zirkadian-Rhythmik vor: etwa einen Impuls alle 24 Stunden. Extrahiert man die Nervenzellen und kultiviert diese in einer Nährlösung, kann man die Zirkadian-Rhythmik der elektrischen Nervenzellaktivität „in vitro“ über Jahre „am Leben erhalten“. Das beweist die autonome Natur der inneren Uhr auf eindruckliche Weise. Es zeigt auch, dass die innere Uhr „fest verdrahtet“ ist und eine wichtige Funktion – die der internen zeitlichen Organisation verschiedener physiologischer und biochemischer

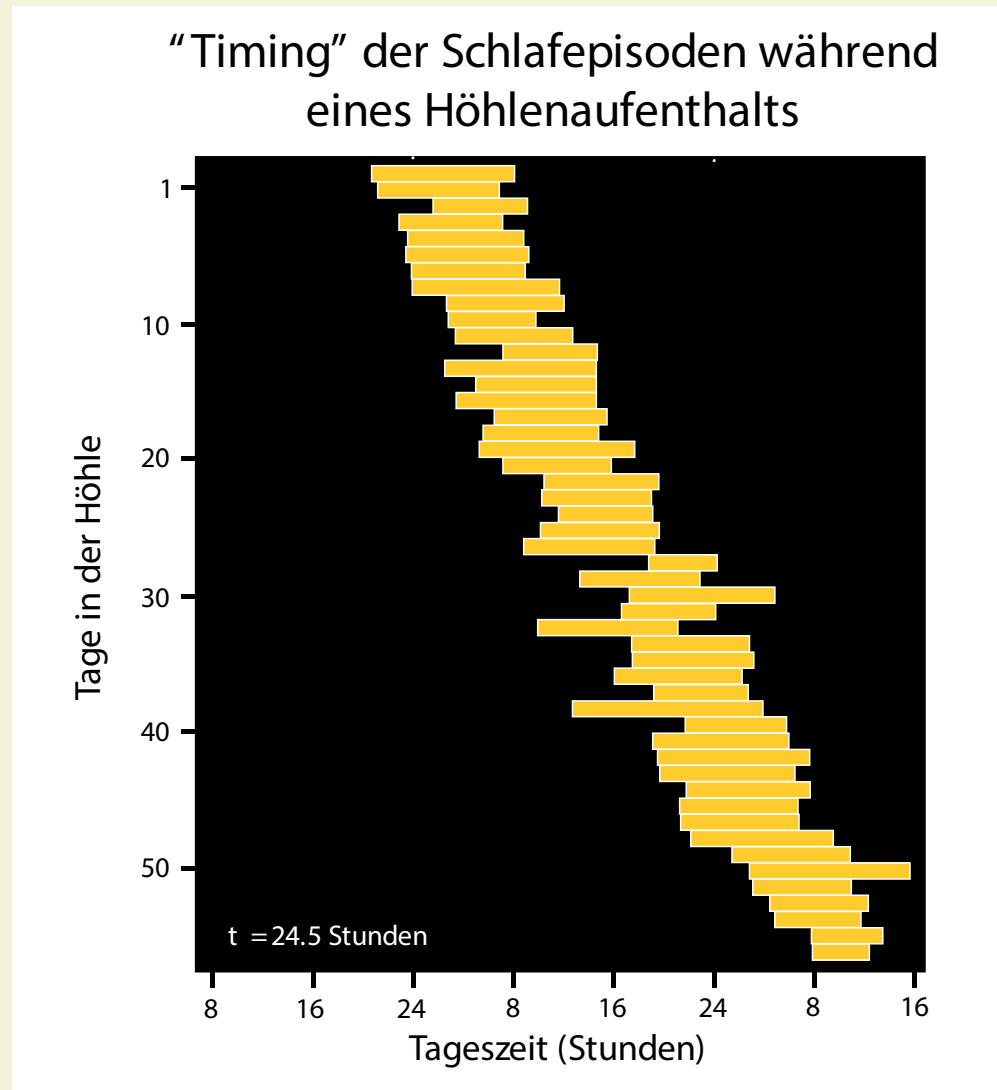
Prozesse – erfüllt. Neben den SCN wurden praktisch in jeder Körperzelle Zirkadian-Rhythmen nachgewiesen [3]. Auch sind die genetischen Bausteine des inneren Uhrwerks entschlüsselt sowie das Zusammenwirken verschiedener „Zahnradchen“ innerhalb der Uhr [4]. Der heutige Konsens unter den Chronobiologen ist, dass die innere Uhr in den suprachiasmatischen Kernen als sogenannte „Master-Clock“ (Hauptuhr) fungiert, welche die Uhren in der Peripherie, zum Beispiel in der Lunge, im Herz oder in der Leber, synchronisiert, sodass kein „Chronochaos“ oder keine interne Desynchronisation im Orchester der Zirkadian-Rhythmik entsteht. Das Bild des Dirigenten (Hauptuhr), der die einzelnen Spieler (Nebenuhren) zur Synchronizität auffordert, sei hier angebracht.

9.3 Licht eicht die innere Uhr

Das Ticken der inneren Uhr ist autonom und selbsterhaltend und braucht deshalb kein Licht von außen. Michel Siffre in der Dunkelheit der Höhle wie auch komplett blinde Menschen, denen die Augen entnommen wurden, haben eine perfekte Zirkadian-Rhythmik. Um dies nachzuweisen, misst man den Melatonin-Rhythmus eines Menschen im Blut oder im Speichel, denn das Neurohormon Melatonin ist der beste Indikator der Zirkadian-Rhythmik. Melatonin wird in der Zirbeldrüse von den Pinealozyten produziert, was überwiegend nachts stattfindet. Diese zirkadiane Regulation wird über eine spezielle Nervenzellschaltung durch die SCN kontrolliert und widerspiegelt den Tagesgang der elektrischen SCN-Aktivität. Wird das zirkadiane Melatonin-Profil im Dämmerlicht gemessen, stellt man eine tägliche Verschiebung in Abhängigkeit der individuellen Zirkadian-Periodik eines Menschen fest. Unter einem regelmäßigen Licht-Dunkelwechsel hingegen bleibt das Profil „fix“ auf einen 24-Stunden-Tag synchronisiert (Abb. 9.2). Licht ist der wichtigste Zeitgeber für die innere Uhr – wie schon im ersten Kapitel dieses Buches dargelegt wurde. Morgens stellt das Tageslicht die innere Uhr auf „wach und aktiv“. Die Dunkelheit am Abend signalisiert Nacht. Ohne diesen äußeren Zeitgeber beginnt die innere Uhr, in ihrem eigenen Takt zu ticken, wie bei Michel Siffre oder bei Blinden. Im Alltag hingegen sind die meisten sehenden Menschen auf einen 24-Studentakt geeicht. Das Tageslicht hilft, sich an wechselnde Umweltbedingungen anzupassen – also zum Beispiel an die kurzen Tage im Winter und die langen Abende im Sommer. Ob Sonnenlicht oder Nachttischlampe – Licht eicht die innere Uhr selbst dann, wenn wir schlafen und die Augen geschlossen sind. Unter der Netzhaut liegen die spezialisierten Nervenzellen, welche den inneren Rhythmus takten. Sie verfügen über einen bestimmten Sehfärbstoff, Melanopsin genannt (vgl. [5]). Farben oder Formen kann dieses Molekül nicht differenzieren – es meldet lediglich die Informationen „hell“ oder „dunkel“ an die SCN. Für die Eichtung der inneren Uhr ist es sehr wichtig, dass diese Information (hell = Tag, dunkel = Nacht) klar und regelmäßig durchkommt. Für Menschen, die draußen im Tageslicht arbeiten, ist dies normalerweise kein Problem, da der Himmel

ABBILDUNG 9.2:

Das „Timing“ der Schlafepisoden während des Höhlenaufenthalts von Michel Siffre. Die gelben Balken markieren die Schlafenszeiten des Höhlenforschers während seines Aufenthaltes in einer 120 m tiefen Höhle in den französischen Alpen. Die zirkadiane Uhr steuerte sein Schlaf-Wachverhalten mit einer Periodik von 24,5 Stunden.



selbst an einem bewölkten Tag mit einigen Tausend Lux strahlt (siehe Kap.1, Abb. 1.2 sowie Tabelle 1.1). Ein Innenraum kommt meist nur auf 100 bis 200 Lux und kann daher für Menschen, die im Büro arbeiten, zum Problem werden, denn dies ist zu dunkel für eine effiziente Eichung der inneren Uhr. Die meisten Büroräume brauchen deshalb mehr Tageslicht, und „Büromenschen“ sollten morgens und abends Licht tanken, um das versäumte Tageslicht zu kompensieren. Nach der Abenddämmerung ist es aber genauso wichtig, dass die Lichtintensität des Kunstlichts nicht allzu hoch ist und stetig abnimmt – bis zur völligen Dunkelheit im Schlafzimmer. Denn Licht während der biologischen Nacht, in der Zeitspanne der Melatonin-Ausschüttung, wirkt am stärksten auf die menschliche Zirkadian-Rhythmik. Helles Licht für etwa eine Stunde kann die Rhythmik bis zu zwei Stunden umstellen, die Wachheit und das Stresshormon Kortisol erhöhen und so zu Schlafstörungen führen. Mit diesem Problem wird der Nachtschichtarbeiter täglich bzw. „nächtlich“ konfrontiert. Interessanterweise sind es die Blauanteile des Lichts, die am stärksten auf die Zirkadian-Rhythmik [6], den Wachheitsgrad [7] und den Schlaf wirken [8].

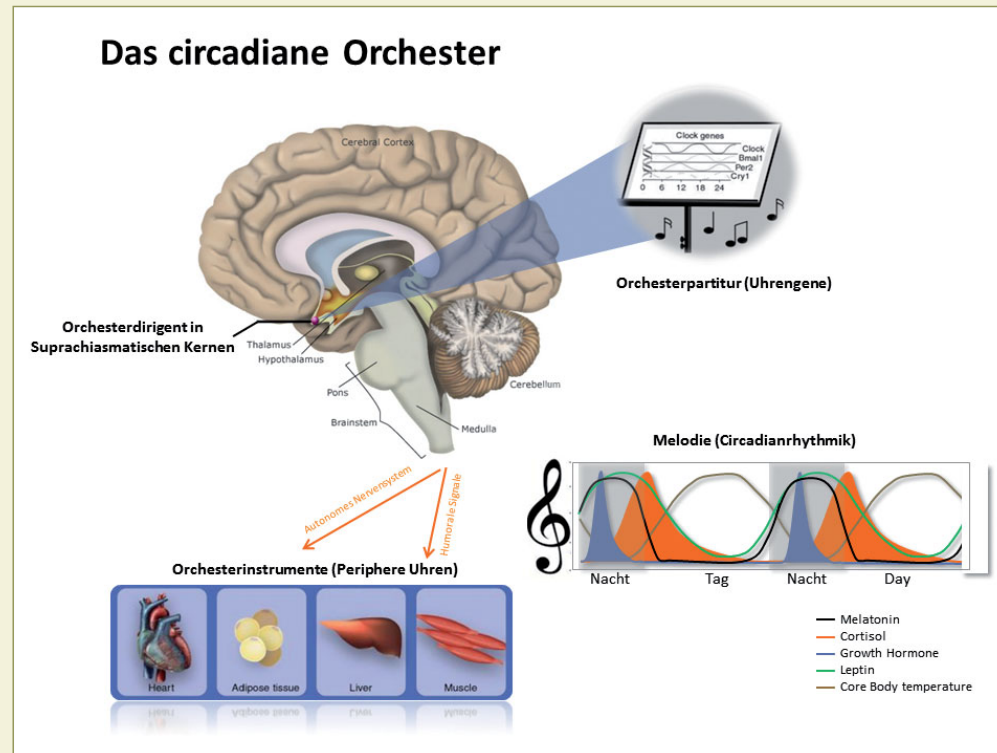
Den Grund dafür kennt man seit dem Jahre 2002 genauer. In diesem Jahr entdeckte nämlich David Berson von der Brown University in Providence eine bisher unbekannte Art photosensitiver Ganglienzellen in der Netzhaut von Säugetieren. Die Ganglienzellen verfügen über ein eigenes Photopigment (wie oben erwähnt das sogenannte Melanopsin) und haben so eine von den übrigen Photorezeptoren im Auge unabhängige Lichtempfindlichkeit [5]. Daher werden sie *intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen* (ipRGCs) genannt. Das Maximum der spektralen Empfindlichkeit der Zellen liegt zwischen 460 bis 480 Nanometern – also im blauen Bereich. Diese Erkenntnis ist entscheidend für die richtige Wahl künstlicher Lichtquellen, sowohl bei der Innenraum- als auch bei der Außenbeleuchtung. Denn ein wesentlicher Gesichtspunkt dabei muss – insbesondere bei Lampen, die die ganze Nacht eingeschaltet bleiben – die Frage sein, welche Arten von Leuchten den Tag-Nacht-Rhythmus von Mensch und Tier am wenigsten stören. Die oben genannten Erkenntnisse legen nahe, Kunstlicht mit starken Blauanteilen während der Nachtschicht besonders vorsichtig einzusetzen, da dieses die Zirkadian-Rhythmik am leichtesten beeinflussen kann.

9.4 Problematische Blauanteile im Licht von Computerbildschirmen

Neben der zirkadianen Wirkung von Licht, die über die SCN vermittelt wird, zeigen neue Kernspinuntersuchungen, dass Hirnstrukturen, die für die Steuerung der Aufmerksamkeit, des Informationsflusses, der Emotionsverarbeitung und des Gedächtnisses eine Rolle spielen, durch blaues Licht verstärkt angeregt werden [9]. Verhaltensexperimente im Labor ergänzen das Bild. Wenn Probanden am Abend bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen Reaktions- und Gedächtnistests absolvieren mussten, schnitten die Testpersonen unter Blaulicht am besten ab [10]. Dies ist auch der Fall, wenn Versuchspersonen vor mit LED bestückten Computerbildschirmen Leistungs- und Gedächtnistest lösen, da LEDs generell besonders hohe Blauanteile haben (Abb. 9.3) [11]. Diese Erkenntnisse werden zunehmend in die Praxis umgesetzt. So haben Forscher der Universität Surrey gemeinsam mit Philips in einem Bürogebäude in England zwei Stockwerke mit blauem Speziallicht ausgestattet, was anfangs nicht für große Beliebtheit unter den Angestellten sorgte. Am Ende aber wollte fast niemand mehr die Lampen hergeben. Die Mitarbeiter berichteten, mit dem Blaulicht hätten sie konzentrierter gearbeitet, mehr geleistet, bessere Laune gehabt und obendrein nachts besser geschlafen [12]. Dauerhaft sollte sich aber niemand dem blauen Licht aussetzen. Es braucht das richtige Licht zur richtigen Zeit, wie auch Dunkelheit zur richtigen Zeit. Denn neben der wachheitssteigernden Wirkung von Blaulicht am Abend unterdrückt es auch die Melatoninproduktion zur falschen Zeit – der Schlaf wird gestört. Wer am Abend kaltweiße Lampen verwendet oder vor einem Computer mit hellem LED-Bildschirm sitzt,

ABBILDUNG 9.3:

Die innere Uhr umfasst ca. 10 000 Nervenzellen und liegt in den suprachiasmatischen Kernen (SCN) im vorderen Hypothalamus (pinkfarbener Punkt). Man kann ihn eigentlich mit einem Dirigenten eines Orchesters vergleichen, der den 24-Stundenrhythmus vorgibt. Als Noten dienen dem Dirigenten die sogenannten „clock genes“, das sind Gene, die das Uhrwerk der inneren Uhr takten. Über verschiedene Efferenzen via autonomes Nervensystem und humorale Signale erreicht der Dirigent seine „Instrumente“, welche in den verschiedenen Organen liegen. So hat jedes dieser Organe seine eigene Uhr, diese peripheren Uhren werden aber von der zentralen Uhr im SCN kontrolliert und synchronisiert, so dass eine harmonische Circadianrhythmik, oder „Melodie“ entsteht. Als Beispiel sind hormonelle Rhythmen aufgeführt. Jedes Hormon hat ein individuelles 24-Stundenprofil, hier zum Beispiel in schwarz das Pinealhormon Melatonin, das nachts hoch ist und tagsüber tief, oder das Cortisol in orange, das in den frühen Morgenstunden „peakt“ und im Verlaufe des Tages abfällt- oder ein anderes Beispiel, das Wachstumshormon, das zu Beginn des Nachtschlafes seine Höchstwerte erreicht und für den Rest des Tages eigentlich nicht sezerniert wird.



setzt nicht nur seine Nachtruhe aufs Spiel, sondern auf Dauer möglicherweise auch seine Gesundheit.

9.5 Künstliches Licht zu „Unzeiten“ bringt die innere Uhr aus dem Takt

Jeder fünfte Arbeitnehmer in Europa ist im Schichtdienst beschäftigt, und es werden immer mehr. Unsere Welt ist rund um die Uhr voller Betriebsamkeit. Mit Kunstlicht versuchen wir, die Natur zu überlisten, und vergessen, dass wir als Teil von ihr den biologischen Taktgeber nicht einfach überspielen können. Durch Nacht- und Wechselschichten werden Schichtarbeitern ungewöhnliche und unregelmäßige Arbeitszeiten auferlegt. Dadurch entstehen gesundheitliche Probleme. Nachtschichtarbeiter müssen sich nicht nur einem unnatürlichen Rhythmus anpassen, wenn die normalen Arbeits- und Schlafzeiten vertauscht bzw. verschoben werden, sie schlafen zudem auch weniger, weil Lärm, Tageslicht und höhere Raumtemperaturen häufige Störfaktoren für den Schlaf am Tage darstellen. Im Vergleich zur durchschnittlichen Schlafdauer von Menschen, die tagsüber arbeiten, ist die Schlafdauer bei Schichtarbeitern um zwei bis vier Stunden verkürzt. Auch bei Wechselschicht finden die Betroffenen aufgrund häufig wechselnder Arbeitszeiten gewöhnlich keinen ausreichenden Schlaf. Da zwischen zwei und fünf Uhr morgens die größte Müdigkeit eintritt, wird die Leistungsfähigkeit von Schichtarbeitern selbst nach

Der Licht-Dunkelwechsel als äusserer «Zeitgeber» für die innere Uhr

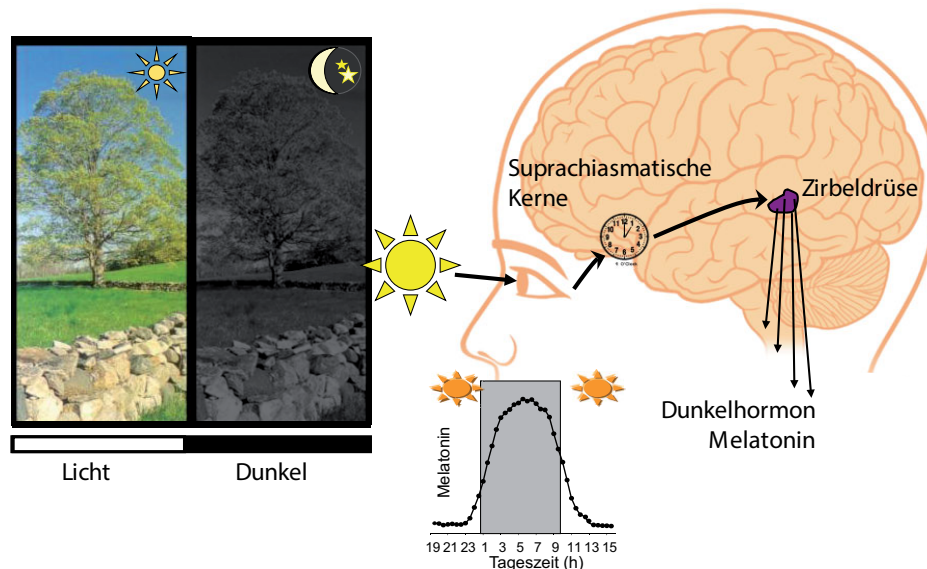


ABBILDUNG 9.4:

Der tägliche Licht-Dunkelwechsel eicht die innere Uhr auf 24 Stunden (Tageslänge), die von der Erddrotation vorgegeben wird. Das ist nötig, da die zirkadiane Rhythmik nicht genau, sondern „ungefähr“ 24 Stunden beträgt. Die Lichtinformation gerät über spezielle Photorezeptoren im Auge zu den SCN. Ist die innere Uhr geeicht, findet die zirkadian gesteuerte Ausschüttung des Melatonins immer nachts statt.

jahrelanger Nachtarbeit erheblich beeinträchtigt. Zahlreiche Studien belegen, dass sich Müdigkeit negativ auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit, Motorik und Stimmung auswirkt. Müdigkeit und unzureichender Schlaf von Nachtarbeitern stellen sich immer wieder als mitverursachende Faktoren bei Unfällen heraus. Auch bei dem Reaktorunfall des Atomkraftwerkes *Three Mile Island* in Harrisburg, USA, und der Schiffshavarie der *Exxon Valdez* vor der Küste Alaskas haben diese Faktoren eine Rolle gespielt. Die Kosten, die der Gesellschaft durch schlafbezogene Unfälle entstehen, sind enorm. Schichtarbeiter werden zudem mit erheblichen sozialen Problemen konfrontiert, da sie zu Zeiten arbeiten, wenn andere schlafen, und umgekehrt zu Zeiten schlafen, wenn andere arbeiten oder Freizeit haben. Viele Nachtarbeiter beklagen, dass ihnen die Zeit für Familie und Freunde, Verabredungen und alltägliche Besorgungen fehlt. Da sich das öffentliche und gesellschaftliche Leben am Rhythmus der Tagesarbeit orientiert, fühlen sie sich oft ausgeschlossen und frustriert. So gerät der Schichtarbeiter in ein zeitliches „Ghetto“, in welchem er von seiner Umwelt isoliert lebt.

9.6 Licht als „Chronopharmakon“

Forscher aus den USA [13] und aus Israel [14] haben festgestellt, dass ein Leben gegen die innere Uhr das Krebsrisiko erhöhen kann. Diese Untersuchungen hat die Weltgesundheitsorganisation WHO bestätigt. Befunde zeigen, dass zum Beispiel ehemalige

Nacharbeiterinnen ein erhöhtes Brustkrebsrisiko haben. Zwei Gründe scheinen dafür verantwortlich zu sein. Zum einen unterdrückt Licht den Melatonin-Spiegel während der Nacht, zum anderen ist Melatonin ein körpereigenes Antioxidans, das dementsprechend erheblich reduziert ist bei der Nachtschichtarbeiterin, die an einem hell erleuchteten Arbeitsplatz arbeitet.

Obwohl diese Wirkungskette nicht bewiesen ist, kann Kunstlicht negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben, die sich vor allem in Schlafstörungen äußern. Das Licht muss wie ein Medikament betrachtet werden, bei dem sowohl die Dosierung als auch die Spektralzusammensetzung optimal eingestellt werden muss. Und was vor allen Dingen sehr wichtig ist: das Timing. Wenn man dem Licht zur falschen Zeit ausgesetzt ist, kann es unangenehme Nebenwirkungen auslösen, die auf lange Zeit gesundheitsschädigend sind. Wie schon Paracelsus wusste: *auf die Dosis kommt es an, damit ein Gift nicht giftig ist*, dies gilt auch für den Einsatz von Licht als Pharmakon. Neben der Dosis spielen die Dauer, die Art des Lichts (spektrale Zusammensetzung) und das Timing der Lichttherapie eine

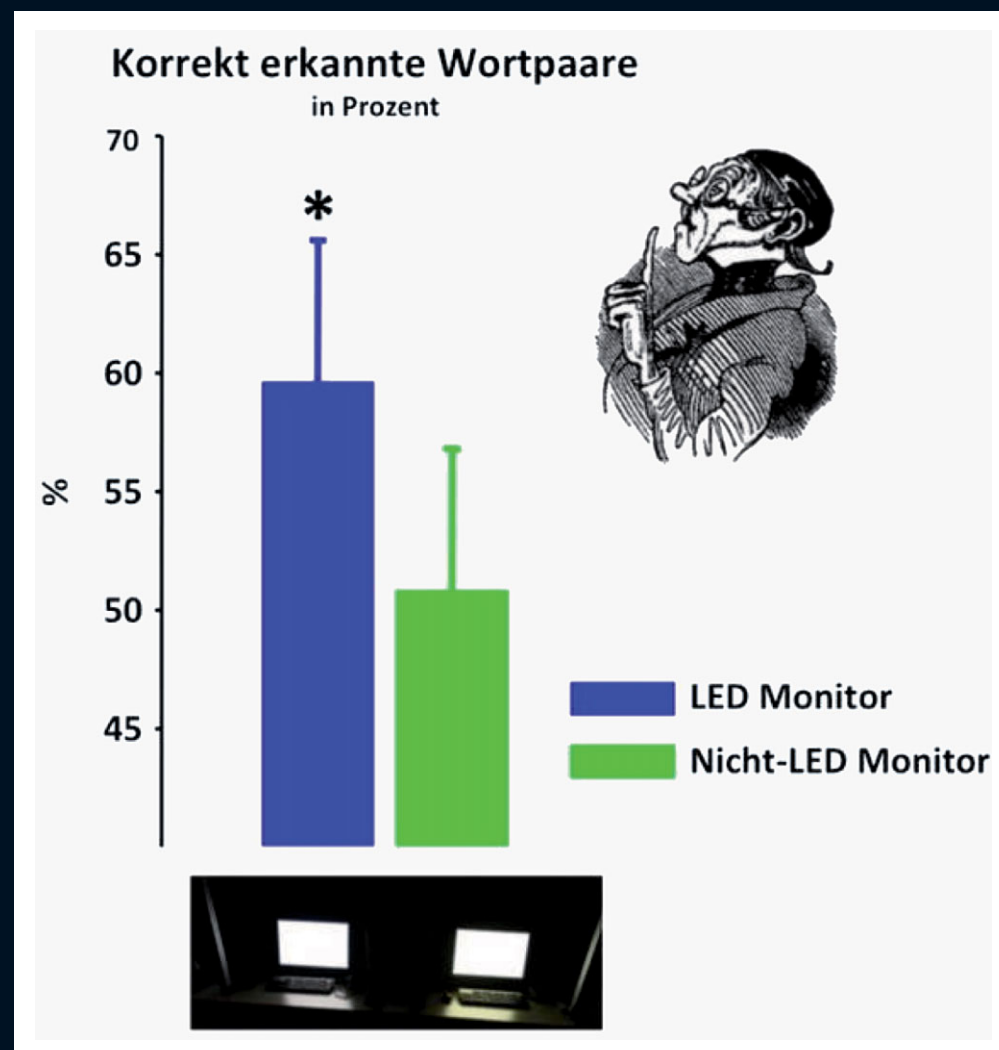


ABBILDUNG 9.5:

Lösen einer Lernaufgabe vor einem Computerbildschirm, der mit Leuchtdioden (LED) bestückt ist beziehungsweise keine LEDs enthält. Die Aufgabe bestand im Erkennen von Wortpaaren. Die Balkengrafik zeigt korrekt erkannte Wortpaare, die verbessert war, wenn der Test von einem LED Computerbildschirm gelöst wurde (in Prozent).

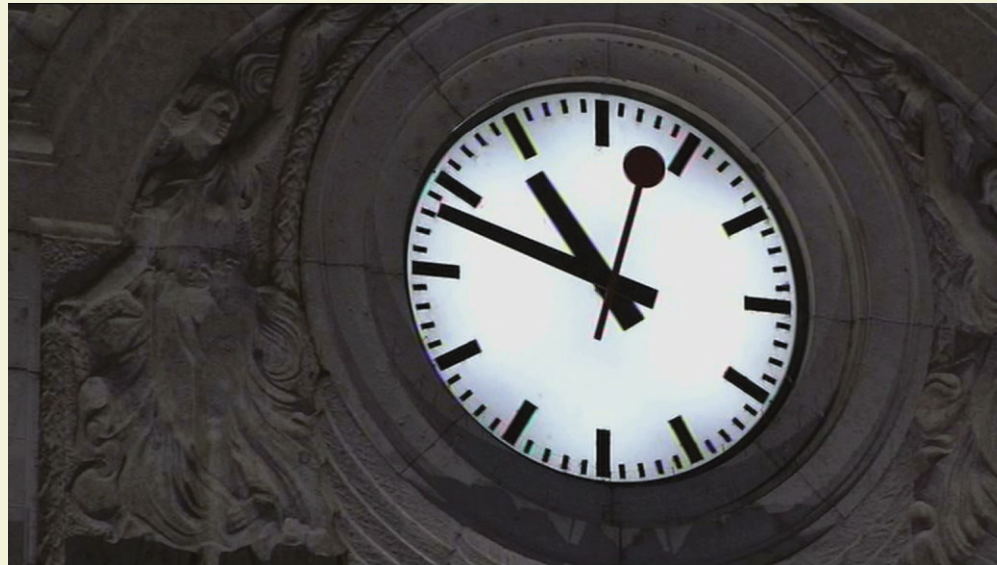


ABBILDUNG 9.6:

Synchronisierung mit (inneren und äußeren) Zeitgebern spielt eine große Rolle für den Menschen.

zentrale Rolle. Werden diese Faktoren genau berücksichtigt, kann Licht die affektiven und physischen Symptome depressiver Erkrankungen positiv beeinflussen. So hat beispielsweise bei depressiven Patienten die Lichtintensität in Patientenzimmern einen Einfluss auf die Dauer der Hospitalisation (Abb. 9.6). Depressive Patienten auf der „Sonnenseite“ der jeweiligen Psychiatrieklinik wurden im Schnitt mehr als 3 Tage eher entlassen, als Patienten, deren Zimmer gegen Norden ausgerichtet war. Klinisch wird die Lichtwirkung vor allem bei der Winterdepression (saisonal bedingte Depression) wissenschaftlich untersucht. Für saisonal depressive Patienten ist die Lichttherapie die Behandlung erster Wahl. In der Schweiz werden deren Kosten von den Krankenkassen übernommen. Die Symptome einer saisonalen Depression treten typischerweise jedes Jahr während der kürzeren Tage des Herbstes und Winters auf und lassen während der längeren Tage des Frühlings und Sommers nach. Die Symptome umfassen gedrückte Stimmung, Interesselosigkeit, verminderte Konzentration, Energielosigkeit und Erschöpfung. Zudem tritt häufig ein vergrößertes Ess- und Schlafbedürfnis auf. Es tritt insbesondere ein Heißhunger auf kohlenhydratreiche Nahrung (z.B. Teigwaren, Schokolade) auf, was in der Folge oft zu einer Gewichtszunahme führt. Eine morgendliche halbstündige Behandlung mit polychromatischem Licht einer Stärke von 10.000 Lux führt bei ca. 60–75 % der saisonal depressiven Patienten zu einer Remission (= temporäres oder dauerhaftes Nachlassen von Krankheitssymptomen). Basierend auf einer umfassenden Metaanalyse von Lichttherapiestudien kam ein Komitee zur Erforschung psychiatrischer Behandlungsmethoden der Amerikanischen Vereinigung für Psychiatrie zum Schluss, dass die Effektivität der Lichtbehandlung für die saisonale, aber auch für die nicht-saisonale Depression sehr ähnlich ist wie jene für die meisten Antidepressiva.

9.7 Wie wirkt Licht antidepressiv?

Wie die antidepressive Wirkung von Licht zu Stande kommt, ist unklar. Es besteht aber ein deutlicher Zusammenhang zwischen der antidepressiven Lichtwirkung und der inneren Uhr. Wenn die zeitliche Planung der Lichttherapie mit der Phasenlage der inneren Uhr abgestimmt wird, können Erfolgsraten von bis zu 80 % bei der saisonal bedingten Depression erreicht werden [15]. Es wird deshalb empfohlen, die Lichtbehandlung 8,5 Stunden nach dem sogenannten „Melatonin Onset“ (Einsetzen der abendlichen Melatonin-Freisetzung beim Menschen etwa zwischen 21 und 24 Uhr) durchzuführen. Daraus resultiert eine Vorverschiebung der Zirkadian-Rhythmik, welche signifikant mit der antidepressiven Lichtwirkung korreliert. Es stellt sich die Frage, ob die antidepressive Wirkung von Licht über die gleichen Photorezeptoren wie für die Zirkadian-Rhythmik vermittelt wird. Neben der zentralen Wirkung von Licht zeigen Studien am Tier, dass Licht auch die Ausschüttung von Hormonen aus den Nebennieren anregt, die den Stoffwechsel und die Reaktion des Körpers auf Stress regulieren [16]. Diese Hormone sind unter anderem wichtig für Reaktionen des Immunsystems auf Entzündungen oder die Steuerung des Tagesrhythmus verschiedener Organe. Wenn Läsionen (Verletzungen) in den suprachiasmatischen Kernen gesetzt wurden, übte die Belichtung keinen Effekt mehr auf die Nebennieren aus. Indem Licht die Freisetzung der Nebennierenhormone auslöst, können die Organe in ihrem Rhythmus auf den Hell-Dunkel-Zyklus der Umwelt abgestimmt werden. Damit lässt sich möglicherweise auch die positive Wirkung der Lichttherapie auf zirkadiane Rhythmusstörungen, wie sie bei Schichtarbeitern und bei Jetlag häufig vorkommen, erklären. Bei Schichtarbeit und Jetlag gibt es nämlich neben der äußeren Desynchronisation der „Hauptuhr“ in den suprachiasmatischen Kernen mit dem äußeren Hell-Dunkel-Zyklus auch eine innere Desynchronisation zwischen der „Hauptuhr“ und den „Nebenuhren“ wie zum Beispiel jenen der Leber oder der Niere.

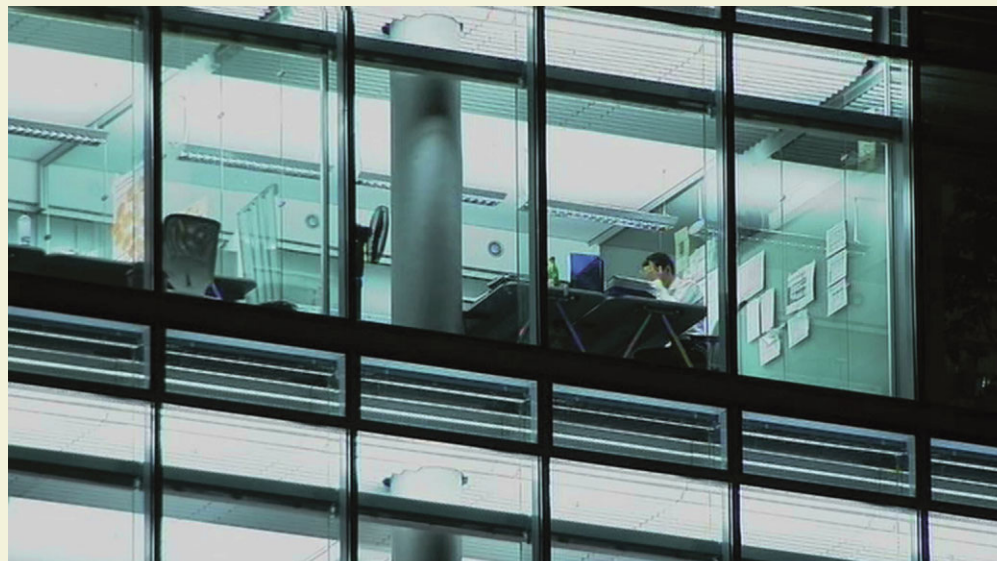


ABBILDUNG 9.7:

Nachts erleuchteter Büroraum.
Durch Kunstlicht ist Arbeit
rund um die Uhr zu etwas
Allgegenwärtigem geworden.

9.8 Bewusster Umgang mit Licht

Das Bewusstsein, dass Licht nicht nur für die Wahrnehmung der Umgebung nötig ist, nimmt stetig zu. Wie oben beschrieben, belegen Forschungsergebnisse aus der Chronobiologie die Rolle des Lichts als integraler Zeitgeber für die menschliche Physis und Psyche. Erste Anwendungen aus diesen Erkenntnissen finden den Weg schon in die Praxis. So berücksichtigen Lichtplaner und Architekten nicht nur den visuellen Komfort, sondern immer mehr auch die nicht-visuelle Wirkung des Lichts (Abb. 9.8). Als Vorbild dient die Natur – so auch für das sogenannte dynamische Licht. Ein großer Hersteller von Leuchtmitteln erklärt das dynamische Licht folgendermaßen: „Der Rhythmus von Tag und Nacht, der Wechsel der Jahreszeiten und das Wetter schaffen Lichtsituationen, die sich ständig verändern. Dynamisches Licht bringt den dynamischen Charakter des Lichts – mit seinen stufenlosen Veränderungen von Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe – in den Innenraum. Mitarbeiter können so die Wirkung des natürlichen Lichtes genießen. Darüber hinaus kann das Licht an die eigenen Vorlieben, Bedürfnisse und Stimmungen angepasst werden. Auf diese Weise kann dynamisches Licht auf flexible Bürokonzepte und dynamische Arbeitsprozesse der modernen Wissensgesellschaft zugeschnitten werden.“ (nach [W.1]). Eine ideale Lösung wäre also eine biodynamische Lichtquelle am Arbeitsplatz, das heißt eine Lichtquelle, die in puncto Intensität und Wellenlänge (Farbe) dem natürlichen Wechsel des Tageslichtes möglichst nahe kommt. Denn evolutionsgeschichtlich gesehen wurde der Mensch nicht fürs Büro konzipiert. Für uns wäre es normal, wenn wir tagsüber draußen im Hellen wären. Solche Ansätze sind zu begrüßen und lassen sich auch in öffentlichen Institutionen wie Schulen oder Altersheimen erfolgreich anwenden. Der derzeitige Aufschwung in der LED-Technologie wird die Gestaltung des Lichts bezüglich Wellenlängen-

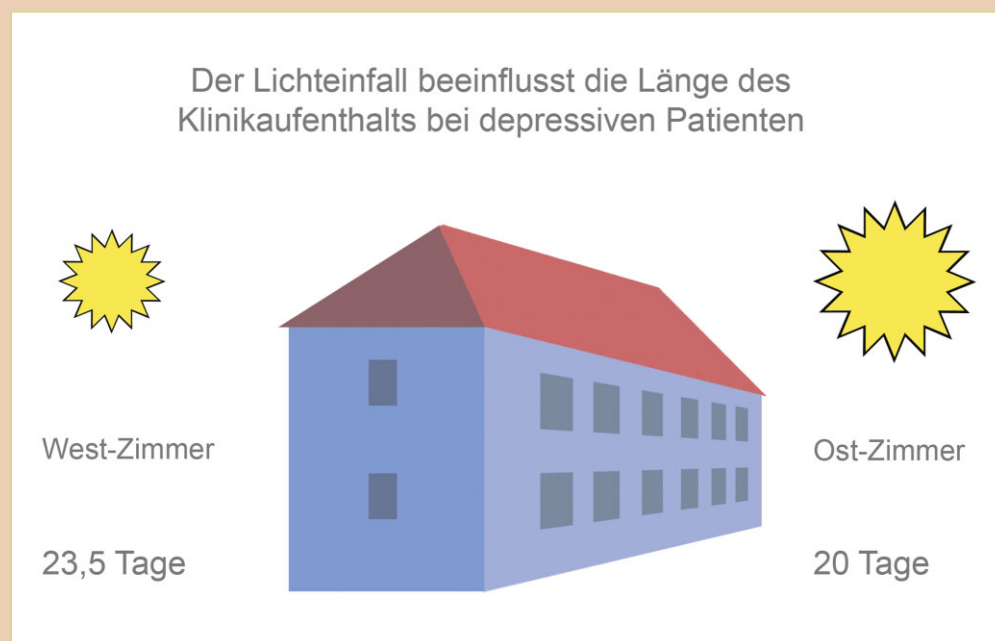
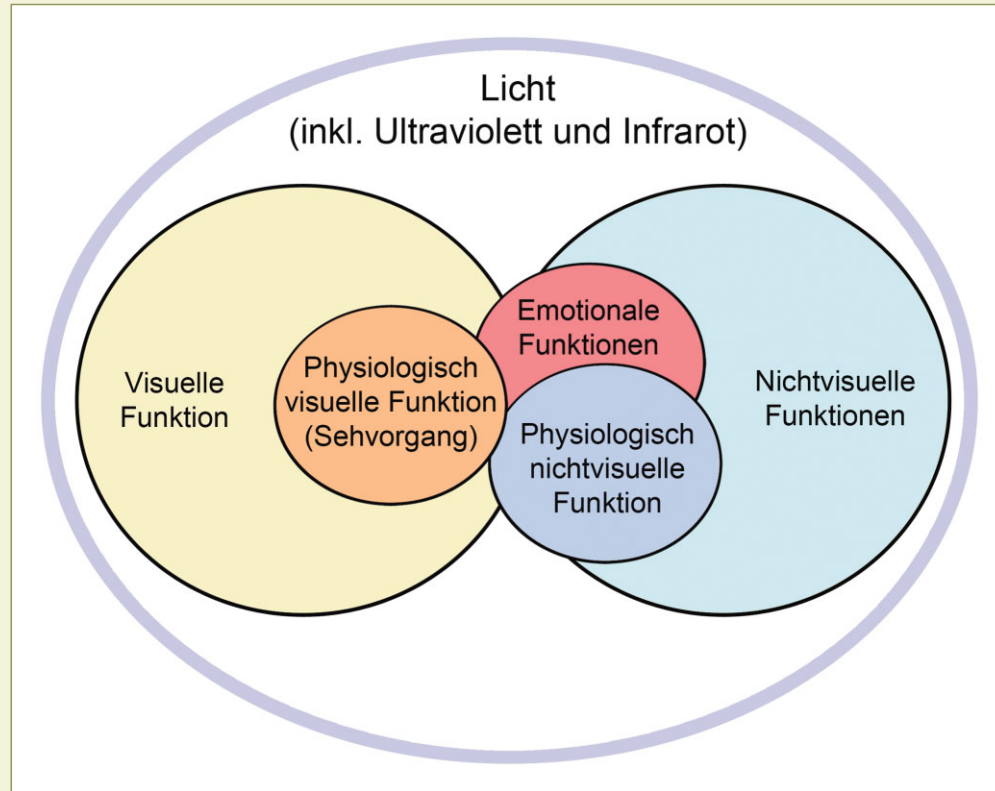


ABBILDUNG 9.8:

Zum Zusammenhang zwischen morgendlichem Sonneneinfall und Dauer der Hospitalisation (nach [9]).

ABBILDUNG 9.9:

Unterteilung der Funktionen des Lichts in visuelle und nichtvisuelle Hauptkomponenten.



komposition, Stärke und vor allem auch Abstrahlungswinkel etc. revolutionieren, und so den sinnvollen Konsum von Kunstlicht am Tage und das Vermeiden von störendem Kunstlicht in der Nacht optimieren. Ein innovativer Ansatz, dieses Dilemma zu entschärfen, kommt derzeit vom Fraunhofer Institut, das eine dynamische Lichtdecke mit tausenden von kleinen LEDs entwickelt hat, welche dem Büroangestellten das Gefühl vermittelt, unter freiem Himmel zu arbeiten [W.2]. Erste Untersuchungen zeigen, dass ein solches Lichtszenario vor allem bei der Verrichtung von kreativen Arbeiten am Computer auf großen Anklang stößt. Neben dieser kreativen technischen Lösung der Bürobeleuchtung versucht man eine nüchterne Vor-Norm zu erstellen, um die wichtigen Begriffe zur zirkadianen, nicht-visuellen Wirkung von Licht auf den Menschen zu klären. Das Ziel ist es, aufzuzeigen, wann und wie biologisch wirksame Beleuchtung einzusetzen ist, und wie viel wirksamer als normales Licht sie ist. Viele Forscher glauben allerdings, dass es für eine solche Richtlinie noch zu früh ist. Es sind noch zu viele Fragen offen, und es mangelt an Studienergebnissen, um sich derart festzulegen.

Neben der Lichtgestaltung mit künstlichem Licht im Büro, ist aber auch der Einbezug von natürlichem Tageslicht sehr wichtig. Schon 1971 definierte der Biologe Stephen Boyden das Bedürfnis nach Tageslicht als eine der „well-being needs“: als Voraussetzung für ein Leben ohne stressbedingte Krankheiten. Man weiß, dass Mitarbeiter, die wenig Tageslicht abbekommen, unzufriedener und gesundheitlich anfälliger werden. Darum arbeiten Physiker, Lichtplaner, Architekten und Chronobiologen fieberhaft an ausgeklügelten



Systemen und Gebäudegrundrissen, um das Tageslicht bis in die hintersten Zimmerwinkel zu leiten.

Über Millionen von Jahren haben sich Mensch und Tier an den Wechsel von Tag und Nacht optimal angepasst – an ein Leben im Rhythmus der Erdrotation. Erst im vorigen Jahrhundert hat der Mensch seine Welt mit elektrischem Licht aus dem Gleichgewicht gebracht; in (biologisch gesehen) sehr kurzer Zeit musste er sich an völlig neue Lebensbedingungen gewöhnen.

Ergebnisse der Chronobiologie zeigen, dass der zirkadiane Rhythmus durch Kunstlicht aus dem Gleichgewicht geraten kann. Was im Falle der Schichtarbeit augenfällig ist – dass intensives Licht zur falschen Zeit zum Problem werden kann – gilt auf subtilere Weise auch für Menschen, deren Schlafzimmer unwillkürlich den überzogenen großstädtischen Beleuchtungsniveaus ausgesetzt sind. Unbedacht eingesetztes Kunstlicht ist einer von vielen potentiell gesundheitsgefährdenden Faktoren der modernen Zivilisation. Die Welt um und über uns wird immer heller. Unser Lebensraum ist kontaminiert – mit Licht. Man kann sich kaum entziehen.

Unser Ziel muss aber sein, auch in den bebauten urbanen Gegenden das kontaminierte Illuminationsmuster dem natürlichen Muster des Tag-Nacht-Zyklus wieder möglichst nahe

ABBILDUNG 9.10:

Beständige Sonneneinstrahlung, wie sie hoch über allen Wolken im Weltraum herrscht, erscheint vielen Menschen wünschenswert. Aber wie würde sie auf Dauer auf die Psyche wirken?

zu bringen. Generell ist ein bewusster Umgang mit der Macht des Lichts also unerlässlich. So wie wir uns über unser Essverhalten Gedanken machen, müssen wir auch viel mehr über unseren Umgang mit Licht nachdenken.

Zitierte Literatur:

- [1] Siffre, M., *Beyond Time*. 1964: McGraw-Hill.
- [2] Moore, R.Y., V.B. Eichler, *Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat*. Brain Res, 1972. **42**: S. 201–206.
- [3] Plautz, J. D., et al., *Independent photoreceptive circadian clocks throughout drosophila*. Science, 1997. **278**: S. 1632–1635.
- [4] Schibler, U., *The daily timing of gene expression and physiology in mammals*. Dialogues Clin Neurosci, 2007. **9**(3): S. 257–72.
- [5] Berson, D. M., F. A. Dunn, and M. Takao, *Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock*. Science, 2002. **295**: S. 1070–1073.
- [6] Lockley, S. W., G. C. Brainard, and C. A. Czeisler, *High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light*. J Clin Endocrinol Metab, 2003. **88**: S. 4502–4505.
- [7] Cajochen, C., et al., *High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation and heart rate to short wavelength light*. J Clin Endocrinol Metab, 2005. **90**: S. 1311–1316.
- [8] Münch, M., et al., *Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men*. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2006. **290**: S. R1421–R1428.
- [9] Vandewalle, G., S. Maquet, and D.-J. Dijk, *Light as a modulator of cognitive brain function*. Trends Cogn Sci, 2009. **13**(10): S. 429–438.
- [10] Chellappa, S. L., et al., *Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert?* PLoS ONE, 2011. **6**(1): S. e16429.
- [11] Cajochen, C., et al., *Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance*. J Appl Physiol, 2011. **110**(5): S. 1432–8.
- [12] Viola, A. U., et al., *Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality*. Scand J Work Environ Health, 2008. **34**: S. 297–306.
- [13] Schernhammer, E. S., et al., *Urinary 6-sulfatoxymelatonin levels and risk of breast cancer in postmenopausal women*. J Natl Cancer Inst, 2008. **100**(12): S. 898–905.
- [14] Kloog, I., et al., *Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide*. Cancer Causes Control, 2010. **21**(12): S. 2059–68.
- [15] Terman, J. S., et al., *Circadian time of morning light administration and therapeutic response in winter depression*. Arch Gen Psychiatry, 2001. **58**: S. 69–75.
- [16] Ishida, A., et al., *Light activates the adrenal gland: timing of gene expression and glucocorticoid release*. Cell Metab, 2005. **2**(5): S. 297–307.

Internetquellen:

- [W.1] www.lighting.philips.de/lightcommunity/trends/dynamic_lighting/what_is_dl.wpd
(zuletzt abgerufen am 20.3.2013)
- [W.2] <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2012/january/sky-light-sky-bright.html>
(zuletzt abgerufen am 20.3.2013)

