

WAS IST GESUNDES LICHT AM ARBEITSPLATZ?

GERRIT VAN DEN BELD,

PHILIPS LIGHTING

ZUSAMMENFASSUNG

Jüngste Erkenntnisse in Bezug auf die nicht-bildgebenden Effekte (im Englischen „*Non Image Forming effects*“, kurz „NIF effects“ genannt) des okulären Lichts eröffnen neue Aspekte für Beleuchtungslösungen, die sowohl die Beleuchtungserfordernisse für die Sehfähigkeit als auch nicht-bildgebenden Effekte berücksichtigen. Derartige Beleuchtungslösungen sind sowohl für den Arbeitnehmer als auch für den Arbeitgeber von Vorteil, weil sie auf der einen Seite der Gesundheit und dem Wohlbefinden zugute kommen und auf der anderen Seite die Produktivität erhöhen. Die Beleuchtungsplanung steht vor der Aufgabe, die Anforderungen an die Beleuchtung insgesamt zu erfüllen, um solche für beide Seiten gewinnbringenden Bedingungen am Arbeitsplatz zu schaffen und damit einen ersten Schritt auf dem Weg zur Entwicklung neuer Beleuchtungsnormen für die Beleuchtung am Arbeitsplatz zu tun. Beispiele für mögliche Algorithmen sind beigelegt.

1. EINLEITUNG

Was ist gesundes Licht am Arbeitsplatz? Eine kurze, aber schwierige Frage, die noch nicht vollständig beantwortet werden kann. Eine hochwertige Beleuchtung beruht zur Zeit auf Normen und Empfehlungen, in denen die Bedingungen festgelegt sind, die zur optimalen Ausführung von visuellen Aufgaben erfüllt werden sollten. Aber selbst wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, entspricht die Beleuchtung nicht den Bedürfnissen und Wünschen jeder Einzelperson, weil diese sich individuell unterscheiden. Zusätzlich wird klar, dass die Beleuchtung auch die Anforderungen in Bezug auf die nicht-bildgebenden Effekte (Non Image Forming, NIF) des Lichts erfüllen sollte. Die von dem Auge wahrgenommene Beleuchtung – das okuläre Licht – ist sehr wichtig, um eine Vielzahl von physiologischen und psychologischen Effekten zu steuern und zu aktivieren, die das Wohlbefinden, die Gesundheit und die Produktivität beeinflussen. Darüber hinaus erfordert die Verschiebung hin zu einer 24-Stunden-Gesellschaft rund um die Uhr zur Verfügung stehende Dienstleistungen, also auch Nachtschichten. Um die menschlichen Beleuchtungsanforderungen sowohl in Hinblick auf die durchzuführende visuelle Aufgabe als auch hinsichtlich der nicht-bildgebenden Effekte bei einer Arbeit zu erfüllen, die zu jeder Tages- und Nachtzeit ausgeführt wird, sind optimale Beleuchtungslösungen erforderlich.

2. SEHFÄHIGKEIT UND NICHT-BILDGEBENDE EFFEKTE DES OKULÄREN LICHTS

2.1. VISUELLE ANFORDERUNGEN / ASPEKTE

Die Beleuchtungsanforderungen für alle normalen visuellen Aufgaben sind in Normen festgehalten, z.B. in der neuen europäischen Norm EN 12464 für Arbeitsplätze. In dieser Norm wird darauf hingewiesen, dass „die Anforderungen den Bedürfnissen nach visuellem Komfort und Leistungsfähigkeit entsprechen, aber sie spezifiziert nicht die Anforderungen in Bezug auf die Sicherheit und die Gesundheit der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz“. Die Beleuchtungsanforderungen für das Sehvermögen gehen also über diese Norm hinaus, so zum Beispiel die Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung. Aspekte, die hier berücksichtigt werden sollten oder müssen, sind: Beleuchtung entsprechend der Norm, Produktivität, Verringerung der Unfallwahrscheinlichkeit, Sicherheit und hiermit zusammenhängende Fehlzeiten.

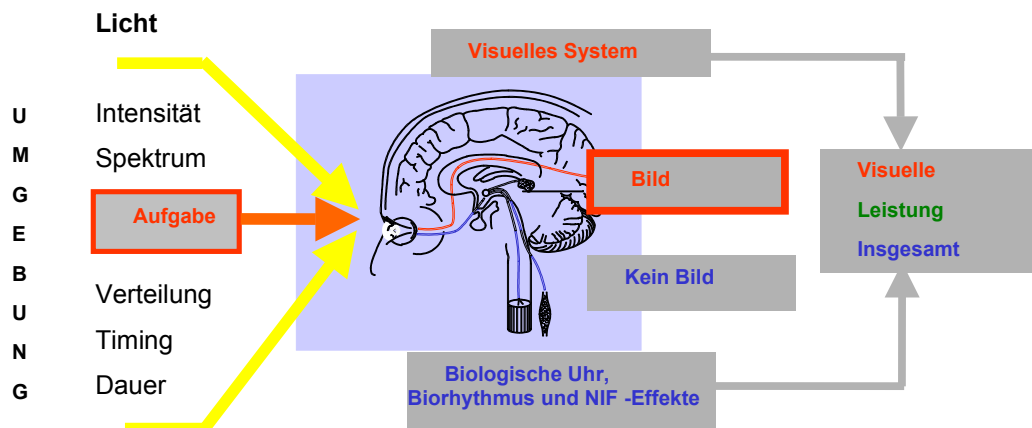


Abb. 1. Visuelles System und biologische Uhr haben separate Nervenverbindungen zum Auge. Sehfähigkeit und nicht-bildgebende Effekte tragen beide zu der Leistungsfähigkeit, dem Wohlbefinden und der Gesundheit bei. Zusätzlich zu den Photorezeptoren für das Sehvermögen (Zapfen und Stäbchen) sind spezielle lichtempfindliche Ganglienzellen an den nicht-bildgebenden Effekten beteiligt.

2.2. NICHT-VISUELLE ANFORDERUNGEN / ASPEKTE

Bei den nicht-visuellen Beleuchtungsanforderungen sollte die Notwendigkeit berücksichtigt werden, die gewünschten nicht-bildgebenden Effekte zu erreichen, weil diese die Gesundheit, das Wohlbefinden, die Produktivität und die Fehlzeiten beeinflussen.

Nicht-bildgebende Effekte des okulären Lichts sind zum Beispiel:

- Aufrechterhaltung der biologischen Uhr, Steuerung der Rhythmen aller Körperfunktionen, z.B. tageszeitliche und jahreszeitliche Rhythmen (in Abb. 2 sind einige 24-stündige Rhythmen dargestellt)
- Direkte stimulierende/unterdrückende Effekte, z.B. Hirnaktivität, Zusammensetzung des EEG, Melatonin, usw.
- Stimmungseffekte, z.B. Winterdepression (SAD), *Winter Blues*, Antriebsniveau...
- Einfluss auf die Produktivität, die Wachsamkeit, das Unfallrisiko in Abhängigkeit von der Tageszeit

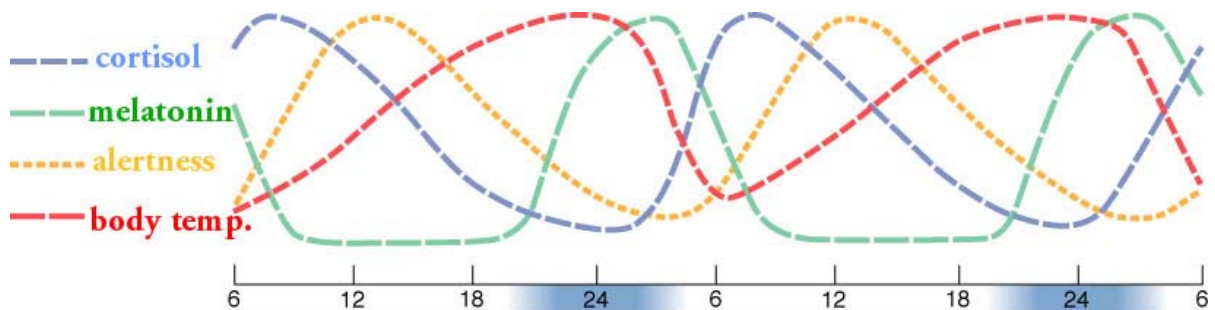


Abb. 2 Doppelte Aufzeichnung über 2 x 24 Stunden von typischen tageszeitlichen Rhythmen von Körpertemperatur, Melatonin (Schlafhormon), Kortisol (Stresshormon) und Wachsamkeit bei einem natürlichen 24-Stunden-Tag/Nacht-Zyklus

Das Licht gilt als der Hauptzeitgeber der biologischen Uhr. Mit dem okulären Licht kann die biologische Uhr synchronisiert, verzögert oder vorgestellt werden. Eine Desynchronisierung führt zu Jet-lag-artigen Symptomen, Verlust an Schlafdauer und -qualität, Montag-Morgen-Effekten, Energieverlust, reduzierter Wachsamkeit, höherem Unfallrisiko, usw.

2.3. BELEUCHTUNGSNIVEAU UND AKTIONSSPEKTRUM FÜR NICHT-BILDGEBENDE EFFEKTE

In zahlreichen Veröffentlichungen wird angegeben, welches Beleuchtungsniveau erforderlich ist, um nicht-bildgebende Effekte zu erreichen, z.B. in Bezug auf die Synchronisierung der biologischen Uhr, auf die Phasenverschiebung der biologischen Uhr, auf die Bewältigung von *Winter Blues*, auf die Steigerung der Wachsamkeit und der Produktivität, usw.

Ein Beispiel für den Einfluss des Beleuchtungsniveaus und der Produktivität basierend auf Daten aus dem deutschen „Handbuch für Beleuchtung“: Im Fall der Metallindustrie wurde das Beleuchtungsniveau von 300 auf 2000 lx angehoben, ein Niveau, bei dem nicht-bildgebende Effekte sicherlich eine Rolle spielen werden. Es wurde eine Zunahme in der aufgabenbezogenen Leistungsfähigkeit von 16%, eine Reduzierung des Ausschusses um 29% und eine Reduzierung der Unfälle um 52% erreicht, was insgesamt zu einer Produktivitätssteigerung von mehr als 20% führte. Eine weitere Niveau-Angabe für nicht-bildgebende Effekte findet sich in der Behandlung von *Winter Blues*, bei der oft ein Beleuchtungsniveau von 2500 lx angewendet wird.

Die veröffentlichten Aktionsspektren (Abb. 3) zur Unterdrückung von Melatonin (Thapan, Brainard) stimmen sehr gut mit den vor kurzem entdeckten nicht-bildgebenden Photorezeptoren überein, deren maximale Empfindlichkeit ebenfalls im Bereich von 430 - 460 nm (Benson, Hattar) liegt. Aus diesen Daten kann eine Kurve abgeleitet werden, die den Lichtstrom und die nicht-bildgebende Abstrahlung pro ausgestrahltem Watt zwischen 380 und 760 nm für verschiedene Lichtquellen darstellt (Abb. 4). Die heute für die Allgemeinbeleuchtung verwendeten Lichtquellen liegen zwischen den Bereichen B1 und C. Spezielle Lichtquellen können für die Bereiche A, B und C entwickelt werden.

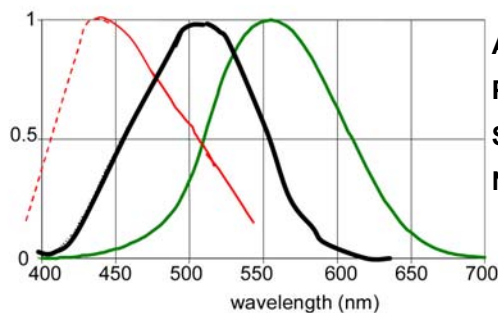


Abb. 3.

Photopische Empfindlichkeit (grüne Kurve, max. 555 nm)

Skotopische Empfindlichkeit (schwarze Kurve, max. 509 nm)

NIF-Aktionsspektrum (rote Kurve, max. 430-460 nm)

Die Lichtquellen in den Bereichen A, B, C und N in dieser Grafik (Abb. 4) können wie folgt charakterisiert werden:

Bereich A : Hocheffizient bei nicht-bildgebenden Effekten, geringe Lichtausbeute

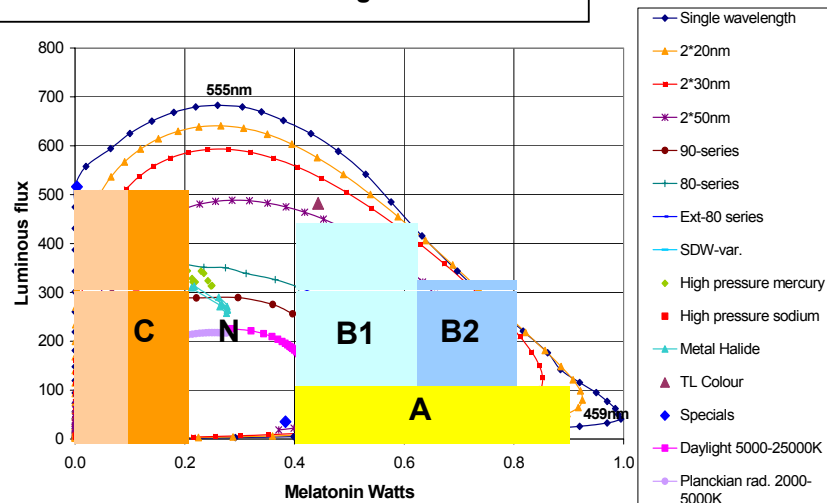
Bereich B1 : Hocheffizient bei nicht-bildgebenden Effekten, hohe Lichtausbeute

Bereich B2 : Hocheffizient bei nicht-bildgebenden Effekten, mäßige Lichtausbeute, schlechte Farbwiedergabe

Bereich C : Geringe Effizienz bei nicht-bildgebenden Effekten, hohe Lichtausbeute

Bereich N : Die Mehrzahl der heute erhältlichen universellen Standardlampen

Abb. 4. Spektrale Effizienz NIF-Abstrahlung und Lichtstrom



3. KONZEPTE UND OPTIONEN FÜR BELEUCHTUNGSLGORITHMEN

Ausgehend von Abbildung 4 können energieeffiziente Beleuchtungslösungen für die jeweiligen visuellen Anforderungen und die Beleuchtungsanforderungen für nicht-bildgebende Effekte abgeleitet werden. Es können zum Beispiel in Abhängigkeit von dem erforderlichen Beleuchtungsniveau, der Tageszeit und der Art der Aktivität Lichtquellen aus den Bereichen A, B, C und N gewählt werden.

Gesunde Lichtalgorithmen sollten nicht nur die Beleuchtungsanforderungen am Arbeitsplatz berücksichtigen, sondern auch die Helligkeits- (und Dunkelheits-) Empfehlungen für die freien Stunden des Arbeitstags enthalten, weil der gesamte Tag/Nacht-Zyklus Einfluss auf die nicht-bildgebenden Effekte und damit auch auf die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden hat.

3.1. TAGESSCHICHTEN

In Abbildung 5 ist eine Option für Arbeiten/Aktivitäten während des Tages dargestellt. Sie beginnt mit einem hohen Beleuchtungsniveau am Morgen, einer Kompensation für den so genannten Einbruch nach der Mittagszeit (englisch: *post lunch dip*) und wieder einem zunehmendem Niveau am Ende des Arbeitstags, um der zunehmenden Müdigkeit entgegenzuwirken. Die Beleuchtungsniveaus zum Erreichen der verstärkenden Effekte liegen in der Größenordnung von 1000 - 1500 lx und können durch Tageslicht, falls verfügbar, oder durch elektrisches Licht entweder von der allgemeinen Beleuchtung oder von einer lokalen Beleuchtung, z.B. über dem Schreibtisch, geliefert werden.

Die Farbtemperatur des verstärkenden Lichts ist vorzugsweise hoch, z.B. mehr als 10.000 K. Geeignete Lichtquellen finden sich in dem Bereich B von Abbildung 4. Diese verstärkenden Effekte scheinen am effizientesten zu sein, wenn der Anstieg als Stufenfunktion erfolgt. Eine allmähliche Erhöhung hat einen geringeren Effekt zur Folge (siehe Cooper). Das Timing der zusätzlichen Verstärkung kann dem Arbeitnehmer überlassen bleiben, so dass er die Beleuchtung selbst nach seinen individuellen Bedürfnissen steuern kann. Die geringere Beleuchtungsstärke (die mindestens den 'visuellen Anforderungen' entspricht) wird durch ein allmähliches Dimmen und Ändern der Farbtemperatur auf Werte von 4000 - 6000 K erreicht, je nach Vorliebe des Arbeitnehmers und passend zum jeweiligen Beitrag des Tageslichts. Zusätzlich können dynamische Effekte hinzugefügt werden, um eine natürliche Wirkung zu erzielen, wie man sie an einem wechselnd sonnigen/bewölkten Tag erleben kann. Es sollte darauf geachtet werden, dass die durchzuführende visuelle Aufgabe hierdurch nicht beeinträchtigt wird.

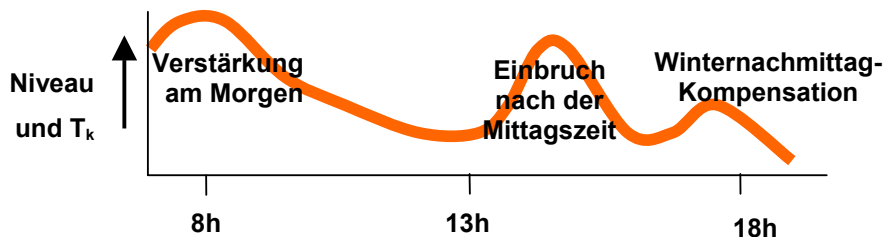


Abb.5. Konzept eines Beleuchtungsalgorithmus für Tagesschichten

Vor dem Beginn der täglichen Arbeit können so genannte Dämmerungssimulatoren im Schlafzimmer und eine "Lichtdusche" benutzt werden, um den Vorgang des Aufwachens zu erleichtern.

3.2. ARBEITEN AM ABEND

Eine Option besteht darin, mit einer Verstärkung von 1000 lx zu beginnen, wie in Abb. 5, und dann allmählich auf das gewünschte Standardniveau zu reduzieren. Zu Beginn sollte die Farbtemperatur vorzugsweise hoch sein und allmählich auf sehr niedrige Werte gesenkt werden. Die spektrale Verteilung ändert sich von dem B-Bereich zum A-Bereich von Abbildung 4. Auf diese Weise kann nach Beendigung der Abendarbeit eine bessere Schlafqualität erwartet werden. Für die Arbeit zuhause kann das Beleuchtungsniveau sogar unter das Standard-Beleuchtungsniveau zurückgehen.

3.3. ARBEITEN IN DER NACHTSCHICHT

Feldstudien zeigen große individuelle Schwankungen in den Biorhythmus-Phasenverschiebungen, die darauf hinweisen, dass die vorhandene Standardbeleuchtung bei Nachtschichtarbeit für den Arbeitnehmer nicht optimal ist. Eine individuell geregelte Beleuchtung am individuellen Arbeitsplatz anstelle eines allgemeinen Beleuchtungssystems scheint günstiger zu sein. Auf jeden Fall sollte der Beleuchtung für die Nachtschicht mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden und nicht die gleiche Beleuchtung für den Tag, den Abend und die Nacht verwendet werden. Angesichts der biologischen Auswirkungen des Lichts speziell in Bezug auf die tageszeitabhängige Anpassung und die spektrale Empfindlichkeit lassen sich verschiedene Beleuchtungsstrategien unterscheiden, z.B.:

- Beleuchtung, die keine oder nur eine minimale tageszeitabhängige Anpassung und Phasenverschiebung zur Folge hat. Lampen des Bereichs C.
- Beleuchtung, die eine partielle tageszeitabhängige Anpassung und moderate Phasenverschiebung zur Folge hat. Lampen des Bereichs B-A.
- Beleuchtung, die eine maximale tageszeitabhängige Anpassung und Phasenverschiebung zur Folge hat. Lampen des Bereichs B.
- Tiefblaue Beleuchtung, die zu einer erhöhten Wachsamkeit führt, z.B. für Fahrer. Lampen des Bereichs C.

Die Beleuchtungsniveaus und das Timing sind am Anfang und am Ende der Nachtschichtperiode unterschiedlich und hängen auch von der persönlichen Empfindlichkeit ab. Wie bei der Arbeit über Tag kann eine Lichtverstärkung angewendet werden, um die Wachsamkeit zu bestimmten Zeiten zu erhöhen. Diese kann am Arbeitsplatz oder während der Pausen erfolgen.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Jüngste Erkenntnisse in Bezug auf die nicht-bildgebenden Effekte (*Non image forming*, NIF) des okulären Lichts eröffnen neue Aspekte für Beleuchtungslösungen, die sowohl die Beleuchtungserfordernisse für die Sehfähigkeit als auch die nicht-bildgebenden Effekte berücksichtigen. Derartige Beleuchtungslösungen sind sowohl für den Arbeitnehmer als auch für den Arbeitgeber von Vorteil, weil sie auf der einen Seite der Gesundheit und dem Wohlbefinden zugute kommen und auf der anderen Seite die Produktivität erhöhen. Die Beleuchtungsplanung steht vor der Aufgabe, die Anforderungen an die Beleuchtung insgesamt zu erfüllen, um solche für beide Seiten gewinnbringenden Bedingungen am Arbeitsplatz zu schaffen und damit einen ersten Schritt auf dem Weg zur Entwicklung neuer Beleuchtungsnormen für die Beleuchtung am Arbeitsplatz zu tun.

Hinweis: Für eine umfangreiche Referenzliste setzen Sie sich bitte in Verbindung mit gerrit.van.den.beld@philips.com