



Fraunhofer

IAO

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO

HINTERGRUNDINFORMATIONEN

LightFusion

NEUE ANSÄTZE FÜR LICHT UND DISPLAY AM ARBEITSPLATZ

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath, Dipl.-Ing. Matthias Bues, Dr.-Ing. Martin Braun, Dipl.-Ing. Designer Oliver Stefani
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

dieter.spath@iao.fraunhofer.de | matthias.bues@iao.fraunhofer.de | martin.braun@iao.fraunhofer.de | oliver.stefani@iao.fraunhofer.de

1. EINLEITUNG

Die Licht- und Displaytechniken befinden sich gleichermaßen in einem Umbruchprozess. Dies ist im Wesentlichen durch die technologische Entwicklung bei den Leuchtdioden (LED) und organischen Leuchtdioden (OLED) bedingt. LED besitzen zahlreiche vorteilhafte Eigenschaften, wie geringer Raumbedarf, hohe Leuchtdichten, lange Lebensdauer und hohe Energieeffizienz. In vielen Anwendungsbereichen der Lichttechnik haben LED deshalb andere Leuchtmittel bereits verdrängt; Beispiele hierfür sind Signalleuchten, Fahrzeug- und Fassadenbeleuchtung. Dieser Prozess dauert an; Studien zufolge wird im Jahr 2020 der LED-Anteil an der allgemeinen Beleuchtung erwartungsgemäß bei über 90 Prozent liegen (Jacob 2006).

Auch die Displaytechnik erfährt erhebliche Wandlungen durch diese Entwicklung. Aktuell bedeutet das vor allem den zunehmenden Einsatz von LED als Lichtquelle heutiger Displaytechnologien (z.B. für LC-Flachdisplays oder Datenprojektoren). Damit werden kompaktere, energieeffizientere Displaysysteme mit besserer Farbwiedergabe möglich. Der nächste große Schritt wird der Ersatz der Flüssigkristalle durch OLEDs sein. Damit werden noch kompaktere Flachdisplays möglich, die zudem auch auf biegsamen Substraten aufgebracht werden können. Kleinere Displays für Mobilgeräte sind bereits marktgängig; in einigen Jahren werden auch großflächige, hochauflösende OLED-Displays verfügbar sein.

Die skizzierten Entwicklungen führen zu völlig neuen Gestaltungsmöglichkeiten in der Beleuchtungs- und Displaytechnik. Leuchtende Tapeten, die je nach Bedarf auch Informationen darstellen, werden genauso vorstellbar wie multimodale »Smart Windows« (Oltean 2006), die alle Zustände vom transparenten Fenster bis zur diffusen Lichtquelle einnehmen können. Alle Flächen eines Raums, von Wänden bis hin zu Möbeln, können so zu Licht- und Informationsquellen werden. In Verbindung mit adaptiven optischen Systemen können einzelne Raumbereiche gezielt präzise ausgeleuchtet werden.

2. LightFusion – EIN INTEGRIERTER ANSATZ

Der gegenwärtige Wissensstand über Licht und dessen Anwendung bezieht sich vor allem auf direkte Wirkungen der Beleuchtung, die sich anhand von quantitativen Parametern (z. B. Intensität, Spektralverteilung, Lichtfarbe) beschreiben lassen. Die aktuelle Lichtforschung am Fraunhofer IAÖ berücksichtigt verstärkt auch indirekte Wirkungen des Lichts auf den Menschen. Einflüsse lassen sich in die Dimensionen der visuellen Wahrnehmung, der emotionalen Lichtstimmung und der physiologisch-biologischen Wirkungen gliedern. In der Arbeitsgestaltung blieben indirekte Wirkungen des Lichts etwa auf Stimmung und Gesundheit bislang weitgehend unberücksichtigt. Zudem wurden Wirkungen des Lichts zumeist eindimensional bzw. isoliert betrachtet: So existieren Empfehlungen und Richtlinien für Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz, Leuchtdichten und Auflösung von Bildschirmen etc.; erst in jüngerer Vergangenheit wurden Beleuchtungssysteme entwickelt, die die spektrale Veränderung des Sonnenlichts im Tagesverlauf nachzubilden versuchen.

Der LightFusion-Ansatz zielt auf eine integrierende Betrachtung aller drei Aspekte von Licht unter Nutzung der Gestaltungsmöglichkeiten, die sich durch LED- und OLED-Technologien ergeben, insbesondere großflächige Displays, präzise steuerbare Lichtquellen und Flächenleuchten auf OLED-Basis. Darüber hinaus wird auch das Tageslicht einbezogen, was unter Gesichtspunkten der Energieeffizienz und Gesunderhaltung gleichermaßen wichtig ist. Ziel ist die Schaffung einer dynamischen, individualisierbaren Lichtsituation, die günstige Voraussetzungen für die menschliche Leistungsfähigkeit schafft und dabei gleichzeitig gesundheitsfördernde Ressourcen aktiviert. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Beeinflussung des circadianen Systems zu.

Systemtechnisch manifestiert sich dieser integrierte Ansatz in der integrierten Steuerung und Regelung aller Lichtquellen und -senken eines Raums. In einer verallgemeinerten Betrachtung kann jede Fläche des Raums Licht aussenden oder reflektieren.

Wird die Charakteristik jeder Fläche erfasst, kann mit Methoden aus der Computergraphik die räumliche Verteilung des Lichteinfalls theoretisch für jeden Punkt im Raum berechnet werden. Durch Modulation der Lichtquellen und Displays sowie durch die Änderung der Reflexionseigenschaften passiver Flächen mittels E-Paper-Technologien wird diese Lichtverteilung physikalisch umgesetzt.

3. LICHT AM WISSENSARBEITSPLATZ DER ZUKUNFT

3.1 Wirkungen des Lichts

3.1.1 Grundlagen

Licht ist für den Menschen ein lebensnotwendiges Medium. Neben der Informationsaufnahme beeinflusst Licht nahezu den gesamten vitalen Bereich des Menschen (d.h. die Rhythmik der Organe bzw. Lebensfunktionen).

Der gegenwärtige Wissensstand über Licht und dessen Anwendung bezieht sich vornehmlich auf direkte Wirkungen des Lichts zur Informationsaufnahme (d.h. Intensität, Spektralverteilung, Lichtfarbe etc.). Im Kontext der Lichtforschung sollen verstärkt die indirekten Wirkungen von Licht auf den Menschen berücksichtigt werden. In eine umfassende Betrachtung des Lichts werden

- visuelle Wahrnehmungsgrundlagen (d.h. Informationsvermittlung),
- psychisch-emotionale Wirkungen (d.h. Lichtstimmungen) und damit verbundene Raummilieus (d.h. Beleuchtung, Tages- und Kunstlicht),
- physiologisch-biologische Wirkungen auf Gesundheitszustand und Leistungsfähigkeit (z. B. circadianer Rhythmus, SAD, Melatonin, Vitamin D)

einbezogen.

Das Erfordernis einer innovativen Lichtforschung und daraus resultierende Verbesserungen der Beleuchtungs- und Anzeigesysteme werden durch die wachsende Unzufriedenheit der arbeitenden Personen belegt: Mehr als 50 Prozent der Befragten einer zufälligen Stichprobe in einer Studie von Çakir/Çakir (1998) beschreiben die Beleuchtungssituation an ihren Arbeitsplätzen mit negativen Attributen wie unangenehm, unfreundlich und grell.

Mit zunehmender Entfernung des Arbeitsplatzes vom Fenster bzw. mit abnehmender Wirkung des Tageslichts nehmen Befindlichkeitsstörungen am Büroarbeitsplatz zu. Künstliche Beleuchtung wird von 59 Prozent der befragten Büromitarbeiter nicht nur als unangenehm, sondern auch als ständige Beeinträchtigung der Gesundheit empfunden (Çakir/Çakir 1998). Trotzdem werden immer noch viele Büro-Arbeitsplätze unter weitgehendem Ausschluss von Tageslicht betrieben und die negativen Folgen künstlicher Beleuchtung häufig unzureichend wahrgenommen. Dies liegt u. a. am hohen Anpassungsvermögen des menschlichen Auges an veränderte Lichtsituationen, welches über mehrere Zehnerpotenzen hinweg reicht (Fisch 2000). Ein weiterer Grund ist darin zu sehen, dass die Ermüdung vieler Elemente des Sehapparats kaum messbar ist und möglicherweise auch weniger stark wahrgenommen wird, so dass keine wirksamen Schutzmechanismen ergriffen werden.

3.1.2 Visuelle Wahrnehmung

Die Relevanz visueller Wahrnehmungen wird deutlich, wenn man deren Anteil an der menschlichen Sinneswahrnehmung betrachtet, der schätzungsweise 85 Prozent beträgt (Fisch 2000). Visuelle Wahrnehmungsaspekte (d.h. Sehleistung und Informationsaufnahme) gelten beim derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik als weitgehend gelöst. Von besonderer Bedeutung bei der Gestaltung mit Displays ist die Kontrastempfindlichkeit des Auges. Sie ist als die Fähigkeit definiert, Gitter mit niedrigem Kontrast zu diskriminieren. Obgleich sich die Wahrnehmung an sehr große Kontraste anpassen kann (8-9 Größenordnungen) ist der lokale Kontrast einer spezifischen Region nur auf 1:100 bis 1:150 begrenzt (Wandell 1995; Vos/van Meeteren 1972).

Die räumliche Auflösung des Auges ist individuell; sie wird von optischen Eigenschaften sowie von der Zellenverteilung auf der Retina bestimmt. Diese hängen nichtlinear vom Helligkeitsniveau der Szene ab (Wandell 1995; Ware 2000). Bei der Sehschärfe (Visus) unterscheidet man zwischen folgenden Werten:

- Punktschärfe bei hellem Umgebungslicht: 1-1.2 Bogenminuten (0.35-0.3 Millimeter pro unterscheidbarem s/w Pixelpaar auf 1 m)
- Punktschärfe bei niedrigem Umgebungslicht: 2-3 Bogenminuten (0.87-0.58 Millimeter pro unterscheidbarem s/w Pixelpaar auf 1 m)
- Gittersehschärfe: 1-2 Bogenminuten (Die Fähigkeit, ein Muster von hellen und dunklen Stäben von einer konstanten grauen Fläche zu unterscheiden)
- Buchstabenschärfe: 5 Bogenminuten (Die Fähigkeit Buchstaben zu erkennen. Der sogenannte »Snellen-Index« ist der Standard zum Messen dieser Fähigkeit.)
- Stereoschärfe: 10 Bogenminuten (Die Fähigkeit, Gegenstände in der Tiefe noch aufzulösen).
- Noniussehschärfe: 10 Bogensekunden (Die Fähigkeit zu unterscheiden, ob zwei gleichgerichtete gerade Linien etwas gegeneinander verschoben sind).

Relevant ist auch der Grenzwert für das Wahrnehmen von Flimmern, die sogenannte Critical Flicker Frequenz (CFF). Wenngleich diese ebenfalls vom Umgebungslicht und der Position auf der Retina abhängt, man geht davon aus, dass Frequenzen oberhalb von 60 Herz nicht wahrgenommen werden.

Beleuchtungssysteme werden nach den bekannten Parametern des visuellen Systems gestaltet. Die hierbei einbezogenen vier lichttechnischen Grundparameter sind der Lichtstrom, die Lichtstärke, die Leuchtdichte und die Beleuchtungsstärke. Neben diesen lichttechnischen Grundgrößen werden in den Beleuchtungsnormen folgende Charakteristika betrachtet: Blendung, Lichtrichtung und Schattigkeit sowie Farbwiedergabe und Lichtfarbe (DIN EN 12464-1). Aufgrund des Wissensstands wird im Bereich der visuellen Wahrnehmung derzeit kein vordringlicher arbeitswissenschaftlicher Forschungsbedarf gesehen. Dieser ergibt sich erst bei Wechselwirkungen mit den weiteren Wirkungsdimensionen des Lichts, wie sie im Folgenden dargestellt werden.

3.1.3 Psychisch-emotionale Wirkung

Die Sonne hat einen wärmenden symbolischen Charakter (Baumeier 2000). Lorincz (1960) schreibt dem Sonnenlicht eine entspannende Wirkung sowie eine Steigerung des Wohlbefindens, des Appetits und der Qualität des Schlafs zu. Dass Licht zur Behandlung von Stress und Stimmungsschwankungen angewendet werden kann (Liberman 2005), belegt seine Bedeutung auf psychisch-emotionaler Ebene. Klinische Studien haben die Wirksamkeit der Lichttherapie zur Behandlung verschiedener Gemütskrankheiten bewiesen (Wetterberg 1993; Lam 1998).

Licht wirkt vornehmlich unbewusst. Ausgewogene Beleuchtung und angenehme Lichtfarben dienen kurz- und langfristig dem Wohlbefinden (Fisch 2000). Welche Stimmung ein bestimmtes Licht bei einem Menschen hervorruft, hängt jedoch von dessen Erfahrungen und Vorlieben ab. Für alle Menschen gleichermaßen angenehme Licht- und Beleuchtungsbedingungen existieren daher nicht. Für die Lichtgestaltung ist daher bedeutsam, dass die Beleuchtung individuell und kontextspezifisch anpassbar ist.

Nach Ehrenstein (2002) hat der Mensch während der ergotropen Tagphase normalerweise ein erhöhtes Bedürfnis nach Licht. Während der trophotropen Nachtphase besteht physiologische Lichtscheu beziehungsweise eine Bevorzugung warmen Lichts, wie es Kerzen und Glühlampen emittieren. Dies sollte im Rahmen einer dynamischen Lichtgestaltung berücksichtigt werden.

Kühlweiße fluoreszierende Beleuchtung erzeugte bei Schulkindern verstärkt Hyperaktivität, Erschöpfung, Reizbarkeit und Aufmerksamkeitsstörungen, wohingegen Vollspektrumlampen die Überwindung von Lese- und Lernproblemen herbeiführten (Liberman 2005). Um die kognitive und emotionale Ebene positiv zu beeinflussen, sollen daher Beleuchtungssysteme eingesetzt werden, welche dem Tageslichtspektrum nahekommen.

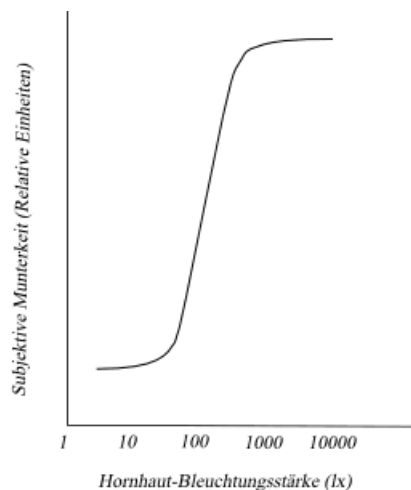


Abbildung 1: Subjektive Munterkeit in Abhängigkeit der Hornhaut-Bleuchtungsstärke (Krüger 2007).

Ein weiterer Aspekt, der auch auf emotionaler Ebene relevant wird, ist die Blendung. Blendung wird häufig mit den Attributen farblos und kalt verbunden (stärker noch als bestimmte Lichtfarben). Farblosigkeit entsteht darüber hinaus häufig durch graue Einrichtungen und kann dann durch die Beleuchtung kaum vermieden werden. Çakir/Çakir (1998) betonen, dass es durch blendende künstliche Beleuchtung zur Beeinträchtigung der Stimmung kommen kann. Eine erhöhte Belastung des Sehapparats, wie sie durch ungünstige Sehaufgaben oder höhere Blendung verursacht werden kann, führt zu einer höheren inneren Anspannung und stärkerer psychischer Ermüdung (Çakir 1979).

fenbart sich unter Aufrechterhaltung bestimmter Mindestbeleuchtungsstärken als besonderer Vorteil für die menschliche Tätigkeitsausführung.

Um vorzeitiger Ermüdung entgegenzuwirken, wird eine Dynamisierung der Beleuchtung empfohlen. Was zunächst als Nachteil der Tageslichtbeleuchtung angesehen wird, of-

Weitere Anhaltspunkte zur subjektiven Präferenz bei der Beleuchtungsstärke gibt Krüger (2007): Als Stimmungsparameter kann das Bewertungspaar »angenehm – unangenehm« herangezogen werden. Bei einer Variabilität der Beleuchtung von 200 Lux bis 600 Lux und einem Indirektanteil der Beleuchtung zwischen 0 Prozent und 100 Prozent werden höhere Beleuchtungsstärken und ein höherer Indirektanteil als angenehmer bewertet. Höhere Beleuchtungsstärken führen darüber hinaus zu höherer subjektiver Munterkeit, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Neben steigender Beleuchtungsstärke bewirkt auch ein steigender Direktanteil der Beleuchtung höhere Munterkeit, wohingegen indirekte Beleuchtung eher beruhigend wirkt (Krüger 2007).

Psychisch-emotionale Wirkungen beziehen sich grundsätzlich auf die Subjektivität des Individuums und sind daher anhand objektiver Kriterien zuweilen schwer zu erfassen. Lichtgestaltung zur Stimmungsbeeinflussung erfolgt zumeist intuitiv. Zur Licht- und Farbgestaltung sind die Grundsätze der Harmonie zu berücksichtigen, die sich in Vielfalt ausdrückt. Richtige Farbgebung durch Licht verbessert die Wahrnehmung, steigert die Motivation und verringert Fehlleistungen, hebt das allgemeine Befinden, schafft Ordnung und verbessert dadurch Orientierung und Erholung. Neben den Grundsätzen zu Erzeugung von Farbharmonien (z. B. Harmonie durch Komplementärkontraste, Mengenkontraste, Helligkeitskontraste, Warm-Kalt-Kontrast) werden insbesondere auch Richtlinien zur Vermeidung von Disharmonien berücksichtigt. Insbesondere der Warm-Kalt-Kontrast sollte bei der Beleuchtung berücksichtigt werden, da sogenannte Sympathicotoniker bzw. Prasymphatikoniker unterschiedlich auf warmes und kaltes Licht reagieren. Durch Einwirkung von farbigem Licht können Adrenalin und Insulin den Blutzuckerspiegel erhöhen respektive senken. Darüber unterstützen Kontraste auch die visuelle Wahrnehmung (Çakir/Çakir 1998). Frieling (1992) empfiehlt, eine einseitige Farbreizung (z. B. durch Licht) zu vermeiden und besser eine dynamische Farbreizung zu verwenden.

3.1.4 Physiologisch-biologische Wirkung des Lichts auf die Gesundheit

Der biologische Wirkungsbereich des Lichts unterscheidet sich erheblich von der visuellen Wirkung. Besondere Aufmerksamkeit wird der circadianen Wirkung des Lichts geschenkt, weil sie das gesundheitliche Befinden des Menschen wesentlich beeinflusst. Über das Auge (und die Haut) reguliert das Licht sämtliche Hormondrüsen und den gesamten Zell-Stoffwechsel. Licht triggert die innere Uhr nach tages-, wochen- und jahreszeitlichen Rhythmen. Die Kommunikation mit den verschiedenen Systemen des Körpers beruht auf der Ausschüttung des Hormons Melatonin in den Blutkreislauf (Rea 2002).

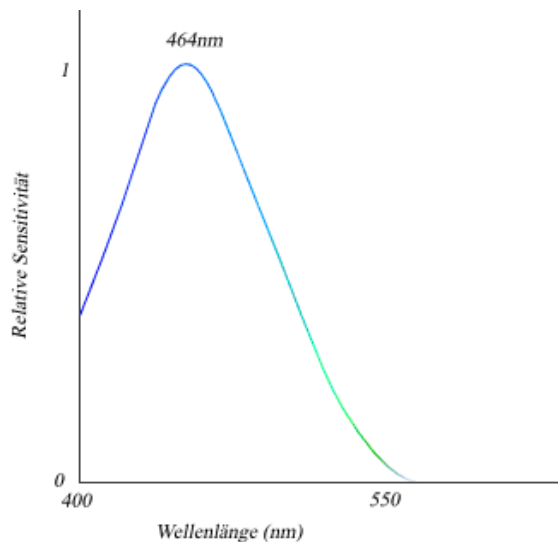


Abbildung 2: Circadiane Empfindlichkeitskurve (Brainard et al. 2001).

Im Auge befinden sich drei Arten von Zapfen (blau, rot, grün) als Photorezeptoren, welche beim photopischen Sehen den visuellen Prozess einleiten. Hinzu kommen die Stäbchen, die ein skotopisches Sehen ermöglichen. Anders als Zapfen und Stäbchen dient der Photorezeptor Melanopsin in der Netzhaut des Auges nicht dem Sehen, sondern steuert das von der Zirbeldrüse produzierte Melatonin (Baumeier 2000). Die Empfindlichkeit des circadianen Photorezeptors Melanopsin in Abhängigkeit der Wellenlänge zeigt Abbildung 2 (Brainard et al. 2001). Das Maximum der Melatoninsuppression und damit der circadianen Aktivierung liegt bei einer Wellenlänge von ca. 460 Nanometern, was blauem Licht entspricht (Thapan 2001).

Die Produktion von Melatonin wird durch Lichteinfluss unterdrückt (Wirz-Justice/Roenneberg 2004). Melatonin löst Müdigkeit aus und steuert somit den Schlaf-Wach-Rhythmus sowie andere circadiane Organfunktionen. Durch die Tagesrhythmik von Lichtstärke und Lichtfarbe werden somit Leistungs- bzw. Regenerationsphasen des Menschen unterstützt (Spath et al. 2004).

Der Einfluss des Zeitgebers Licht auf den endogenen Oszillator hängt auch vom Tageszeitpunkt ab: Befindet sich der endogene Oszillator in der Tagphase, reagiert er kaum auf Lichtreize, zu Beginn der Nacht verschiebt sich die Rhythmik durch Lichteinfluss nach hinten und zu Ende der Nacht nach vorne (Roenneberg et al. 2003). Laut Figueiro (2002) ist die Unterstützung der Circadianrhythmik durch Bestrahlung in bereits genannter Wellenlänge und Beleuchtungsstärke morgens sinnvoll.

Die räumliche Verteilung, welche bei der visuellen Wahrnehmung von großer Relevanz ist, scheint für das circadiane System keine allzu große bedeutende Rolle zu spielen (Rea 2002). Die Beschreibung der Auslöser für die Suppression von Melatonin ermöglicht sowohl ein besseres Verständnis der circadianen Rhythmik als auch eine gezielte Beeinflussung derselben hin zu einer gesundheitsförderlichen Gestaltung von Beleuchtungssystemen. Brainard et al. (2001) schlagen daher für Arbeitsplätze neue Herangehensweisen bei der Planung von Beleuchtungssystemen vor, welche sowohl das visuelle als auch das circadiane System berücksichtigen. Dies erfordert die Entwicklung einer speziell auf die Stärke der circadianen Beeinflussung ausgelegten Lichtmessung. Das photometrische System ist mit der visuellen Empfindlichkeit des Auges gewichtet. Diese unterscheidet sich jedoch deutlich von der Empfindlichkeit des Melanopsin. Differenzen bestehen bezüglich des Spektrums, aber auch Quantität, Zeitpunkt und Dauer der Lichteinwirkung. In Anlehnung an photometrische Größen definierten Gall et al. (2004) einen circadianen Wirkungsfaktor, durch dessen Multiplikation mit der Beleuchtungsstärke sich die »circadiane Beleuchtungsstärke« ergibt.

Die organisatorische Arbeitsgestaltung schafft häufig Bedingungen, die gegen die Funktionsmuster der menschliche Physiologie verstoßen: War man vor der Erfindung der Glühbirne gezwungen, sich an den tageszeitliche Lichtrhythmus anzupassen, so wurde mit Einführung des künstlichen Lichts die Möglichkeit geschaffen, den Arbeitsrhythmus durch andere Vorgaben festzulegen (Spath et al. 2004). Das Arbeiten in den frühen Morgen- oder späten Abendstunden kann daher insbesondere in den Wintermonaten eine gewisse Belastung darstellen.

Eine biologisch wirksame Lichtgestaltung bedingt eine dynamische Beleuchtung (hinsichtlich spektraler, räumlicher und zeitlicher Dimension). Dynamisierung erfolgt vor dem Hintergrund einer Individualisierung von Beleuchtung, d.h. der tendenziellen Abkehr von normierten Lichtkonzepten. Bei der Dynamisierung kann die sinnvolle Variation von Lichtintensität, Lichtfarbe und Lichtverteilung zu einem Erlebniswert führen. Wesentlich ist hier die Unterscheidung zwischen dem unbewussten Erleben und dem bewussten Verändern.

3.1.5 Prinzipien der Arbeitsplatzgestaltung

Zukunftsweisende Beleuchtungs- und Anzeigesysteme sollen geeignete Leistungsvoraussetzungen bei geistiger bzw. körperlicher Arbeit schaffen und zur Gesunderhaltung des arbeitenden Menschen beitragen. Neben Aspekten der Sehleistung soll die Beleuchtung eine Aktivierung des Organismus bewirken, damit die Tätigkeit nicht vorschnell zur Ermüdung und zu ermüdungsbedingten Aufmerksamkeitsfehlern führt. Um die Raum- und Arbeitsplatzbeleuchtung auf die Bedürfnisse des Menschen abzustimmen, sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Einhaltung der lichttechnischen Gütemerkmale
- bei sinnvoller dynamischer Veränderung des Lichts
- unter Einbeziehung des natürlichen Tageslichts.

Wesentlich für innovative Lichtkonzepte ist, dass Beleuchtung nicht als statische, möglichst gleichmäßige Installation in einen Raum und seinen begrenzenden Flächen aufgefasst wird. Beleuchtung soll vielmehr als dynamisches Design eines visuellen Raumklimas verstanden werden.

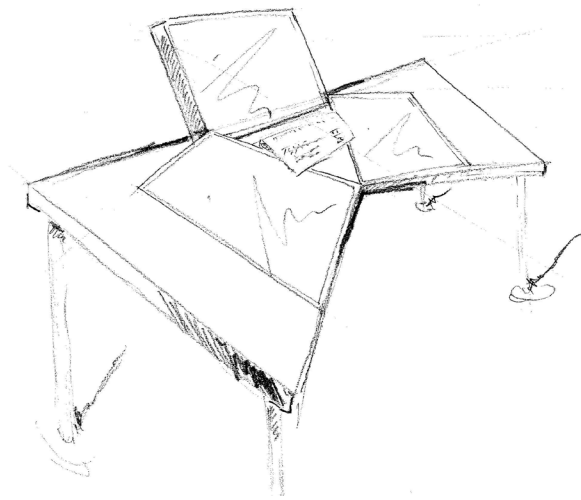


Abbildung 3: Arbeitsplatzkonzept mit drei integrierten Flachbildschirmen.

Studien zeigen, dass viele Monitore am Arbeitsplatz zu hoch positioniert werden. Dem menschlichen Auge fällt es jedoch wesentlich leichter, auf tief platzierte Objekte zu akkomodieren (Bücher werden beim Lesen üblicherweise auch nicht auf Augenhöhe gehalten). Bereits in den 1990er Jahren wurden ergonomische Arbeitsplatzkonzepte mit tief in den Schreibtisch integrierten Monitoren entwickelt. Allerdings konnten sich diese Konzepte aufgrund der sperrigen CRT-Monitore seinerzeit nicht durchsetzen. Die heute weit verbreitete Flachbildschirmtechnologie ermöglicht es hingegen, großflächige, hochauflösende Bildschirme direkt in die Tischfläche zu integrieren. Wenngleich das papierlose Büro vielfach propagiert wird, stapeln sich nach wie vor Papierberge auf vielen Schreibtischen. Warum also nicht mit intuitiven Interaktionskonzepten die gesamte Schreibtischfläche als Display nutzen und Zettel nur noch virtuell auf

dem Schreibtisch ablegen, verschieben und weitergeben? Abbildung 3 zeigt ein derartiges Konzept in Verbindung mit einem zusätzlichen, herkömmlich platzierten Monitor, der dem Benutzer die Möglichkeit des Haltungswechsels und des aufrechten Blicks für entfernte Objekte (z. B. Übersichtsgrafiken, Videokonferenzen etc.) bietet. Solch ein Arbeitsplatzkonzept stellt auch eine Lösung des Problems der optimalen Arbeitsplatzausleuchtung dar: Für Arbeiten am Computer werden 300-500 Lux empfohlen. Arbeiten mit Papierdokumenten erfordern aber mehr Licht. Durch die selbst-leuchtende Bildschirmfläche im Arbeitstisch wäre eine ausreichende Helligkeit gewährleistet.

4. VOM BILDSCHIMMARBEITSPLATZ ZUM INFORMATIONSRAUM

Ansatz der arbeitswissenschaftlichen Forschung ist die Anpassung der (Licht-) Technik an den arbeitenden Menschen, so dass dieser beeinträchtigungsfreie sowie gesundheits- und leistungsförderliche Arbeitsbedingungen vorfindet. Ziele einer methodisch fundierten Planung, Gestaltung und Evaluierung von Beleuchtungs- und Anzeigesystemen sind gleichermaßen produktive, effiziente und gesundheitsgerechte Arbeitsbedingungen.

Der heutige Wissensarbeiter verbringt einen großen Teil seiner Arbeitszeit vor einem Bildschirm von etwa 50 cm Diagonale. Dieser bildschirmzentrierte Arbeitsplatz ist mehr durch technische Gegebenheiten als durch tatsächliche Anwendungserfordernisse geprägt worden. Neben den ergonomischen Schwächen prägen die begrenzte Bildschirmfläche und die dadurch limitierte gleichzeitig darstellbare Informationsmenge die Arbeitsabläufe.

In Meeting- und Präsentationssituationen haben sich große Displayflächen als vorteilhaft erwiesen. Das erscheint zunächst naheliegend wegen der größeren Betrachteranzahl und des damit erforderlichen Betrachtungsabstandes; viel wichtiger ist jedoch die größere Pixelanzahl und damit die größere Menge an Informationen, die gleichzeitig dargestellt und verknüpft werden können. Im Projekt Z-VISUM des Fraunhofer IAO wurde ein universell nutzbarer Meeting- und Präsentationsraum konzipiert und realisiert (Blach 2007). Dieser Raum verfügt als zentrales Element über eine Displaywand mit einer Auflösung von 3072 x 1536 Pixel. Auf dieser Wand können Bildinformationen aus verschiedenen Quellen flexibel kombiniert werden. Darüber hinaus verfügt das Z-VISUM-Labor über eine stereoskopische Displaywand mit 280 x 210 cm und einer Auflösung von 1400 x 1050 Pixel. Auf Basis dieser Infrastruktur wurden verschiedene Anwendungsszenarien aus den Bereichen Produktentwicklung, Digitale Produktion, Business Performance Management und Softwaremanagement entwickelt. Das Thema Licht wurde in diesem Projekt nur hinsichtlich der Anpassung der Beleuchtung an die Randbedingungen der Displaysysteme berücksichtigt. Maßgeblich ist hier der geforderte Kontrast bei gegebener maximaler Leuchtdichte der Displays, der durch die Anpassung der Umgebungshelligkeit beeinflusst werden kann.

5. DER nLightened WORKPLACE

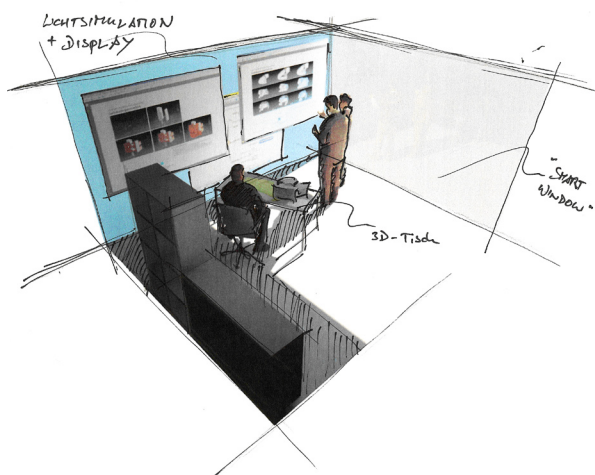


Abbildung 4: nLightened Workplace (Konzept).

Das Konzept des nLightened Workplace überträgt Erkenntnisse aus Meeting- und Präsentationssituationen auf den Individualarbeitsplatz und misst dabei dem Thema Licht entscheidende Bedeutung zu. Verbesserte ergonomische Bedingungen sind dabei ein wichtiges Ziel; wesentlich ist jedoch die Entwicklung neuer Arbeitsprozesse und Interaktionsformen in der Wissensarbeit. Der nLightened Workplace wird die Grenzen des klassischen Bildschirmarbeitsplatzes überwinden und diesen durch das verallgemeinerte Konzept der digitalen Arbeitsfläche ersetzen. Diese ist idealerweise immer in derjenigen Größe, Lage und Auflösung verfügbar, die der Anwender zur aktuellen Aufgabenbewältigung benötigt. Damit werden neue individuelle, aber auch kooperative Arbeitsweisen möglich.

Ein Beispielszenario ist der Arbeitsprozess des Designers, der in allen Phasen der Produktgestaltung, von den ersten Entwurfsskizzen über die Diskussion mit Teamkollegen bis zur Ausarbeitung und hochwertigen Visualisierung des Entwurfs, vom nLightened Workplace optimal unterstützt wird.

Der LightFusion-Ansatz betrachtet zudem die Tatsache, dass Displays auch Lichtquellen sind, aus denen am Arbeitsplatz ein großer Teil der vom Auge aufgenommenen Lichtmenge stammt. Neuartige OLED-Displays und Displays mit LED-Beleuchtung sind einerseits sehr energieeffizient und bieten eine hervorragende Farbwiedergabe, andererseits emittieren diese Displays im Gegensatz zu herkömmlichen Displays blaues Licht mit einem sehr ähnlichen Spektrum, wie es von den Melanopsinempfängern im Auge absorbiert wird. Dies legt die Vermutung nahe, dass durch solche Displays die Müdigkeit des Betrachters verringert werden kann. Auswirkungen von neuartigen LC-Displays mit LED-Beleuchtung bzw. OLED Displays auf die circadiane Rhythmik des arbeitenden Menschen sind noch weitgehend unerforscht.

Bei einer Untersuchung der Wirkung heller bzw. dunkler CRT-Monitoren auf die Müdigkeit hat sich eine signifikant höhere Melatoninkonzentration beim dunklen Monitor herausgestellt (Higuchi et al. 2003). Cajochen et al. (2005) wiesen die Wirkung bereits geringer Mengen an monochromatischem Licht der Wellenlänge um 460 Nanometer am Abend auf die Melatonsuppression und somit auf die Müdigkeit nach.

Weitere Studien von Desan et al. (2007), Glickman et al. (2006) und Wright et al. (2001) zeigen die Möglichkeit der Melatoninsuppression durch LED-Licht im Blauspektrum. Jasser et al. (2006) stellten zwar fest, dass weißes Licht von nur 18 Lux (bei einer Aussetzung von Probanden über zwei Stunden während der Nacht) bereits eine signifikante Reduzierung der Melatoninsuppression bei anschließender Beleuchtung durch monochromatisches 460 Nanometer-Licht verursacht, eine Verstärkung der Melatoninsuppression durch LED-beleuchtete Displays wurde bislang aber nicht untersucht.

Im Rahmen der Entwicklung des nLightened Workplace werden deshalb Untersuchungen zur spektralen Emission und der Reaktion des Menschen auf neuartige Displays (d.h. Konzentration, Müdigkeit, Vigilanz etc.) durchgeführt. Es werden Ergebnisse erwartet, die die Entwicklung von Informationsdisplays wesentlich beeinflussen könnten, und zwar hinsichtlich einer steuerbaren Stimulation der Melanopsinempfänger durch das Displaysystem.

Neben der physiologischen Wirkung kann eine spektral variable Beleuchtung auch psychologische Wirkungen (z. B. Stimmungen) erzeugen und auf diese Weise adaptiv und sogar über physiologische Messmethoden selbst-adaptiv je nach Bedarf entspannende oder anregende Lichtsituationen vorschlagen.

Durch die enge Zusammenarbeit mit den Universitären Psychiatrischen Kliniken Basel werden Display- und Beleuchtungs-Prototypen auf psychologische und physiologische Wirkungen getestet und validiert.

Das prototypische Konzept des nLightened Workplace sieht einen Raum mit einer Nutzfläche von 15 m² vor. Die Wandflächen sind modular austauschbar und werden damit wahlweise als Displays, Leuchtflächen oder passive Flächen verwendet. Hinzu kommen Punktlichtquellen, die automatisch positionierbar sind und damit das physische »Highlighting« einzelner Gegenstände im Raum ermöglichen. Die durch den modularen Ansatz erreichte Variabilität ist auch deshalb wichtig, weil damit neue Displaytechnologien – sobald prototypisch verfügbar – schnell in das System integriert werden können.

Die Sonne ist eine Quelle von kostenlosem Licht in unerschöpflicher Menge. Verschiedenste Tageslichtsysteme, die das natürliche Lichtpotenzial nutzbar machen, indem sie z. B. Tageslicht vom Fenster in die Raumtiefe transportieren, existieren bereits. Aber auch großflächige, passive Displays (LCD) können Tageslicht als Lichtquelle nutzen, was unter Aspekten der Energieeinsparung vorteilhaft ist. Eine Kombination aus variablem Diffusor und einem LCD-Panel kann Tageslichtflächen in Räumen flexibel als Displayflächen, aber auch als Fenster nutzbar machen. Eine zusätzliche transparente OLED-Schicht macht die Displayfunktion eines solchen »Smart Window« darüber hinaus vom Tageslicht weitgehend unabhängig.

Alle Komponenten des nLightened Workplace, also Lichtquellen, Displays, Tageslichtelemente und passive Flächen, werden über ein zentrales System gesteuert. Dieses kennt die geometrische Verteilung aller Komponenten und deren physikalische Eigenschaften wie die maximale Leuchtdichte. Bei den Displayflächen werden zudem die jeweils dargestellten Bildinhalte berücksichtigt; diese sind für das von der Displayfläche abgestrahlte Licht maßgeblich.

Die Übermittlung der Bildinformation zu den jeweiligen Displays erfolgt netzwerkbasierend; jede Displayfläche ist ein im Netzwerk sichtbarer Knoten mit definierten Parametern zu Größe, Position, Auflösung und Leuchtcharakteristik. Die Leuchtdichtenanpassung der Displayflächen erfolgt über eine direkte Ansteuerung ihrer Lichtquellen. Das zentrale Steuerungssystem ermöglicht die gezielte, dynamische Darstellung einer optimalen, in gewissen Grenzen auch vom Benutzer wählbaren Lichtsituation im Raum.

Der nLightened Workplace wird die Forschungs- und Integrationsplattform des LightFusion-Konzepts sein, einerseits also eine Testumgebung für neue Licht- und Displaytechnologien und andererseits eine prototypische Anwendungsumgebung, in der Arbeits- und Interaktionskonzepte für konkrete Anwendungsfälle entwickelt und evaluiert werden. In dieser Doppelfunktion fügt sich der nLightened Workplace nahtlos in das neu entstehende Zentrum Virtuelles Engineering (ZVE) des Fraunhofer IAO ein, das ganz im Zeichen der Erforschung und Umsetzung innovativer Formen der Wissensarbeit steht.

6. LITERATUR

- Baumeier, D.: Der Einfluss von Licht auf die Psyche. Leipzig, Uni-versität, Diss., 2000.
- Blach, R.: Boardroom VISUM des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO: Visuelles Unternehmensmanagement und die Erarbeitung von Strategien als Virtual Reality im 3D-Modell. Professional System (2007) Nr. 2, Seite 40-44.
- Brainard, G.; Hanifin, J.; Greeson, J.; Byrne, B.; Glickman, G.; Gerner, E.; Rollag, M.: Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience* 21 (2001) Nr. 16, S. 6405-6412.
- Cajochen, C.; Münch, M.; Kobiacka, S.; Kräuchi, K.; Steiner, R.; Oelhafen, P.; Orgül, S.; Wirz-Justice, A.: High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 90 (2005) Nr. 3, S. 1311–1316.
- Çakir, A.: Strukturwandel im Büro und die Änderung des Beanspruchungsprofils. In: Armbruster, A.; Çakir, A. (Hrsg.): Das Datensichtgerät als Arbeitsmittel. Berlin: ERGONOMIC Institut, 1979.
- Çakir, A.; Çakir, G.: Forschungsbericht des Projekts »Licht und Gesundheit«. Berlin: Ergonomic Institut, 1998.
- Desan, P.H.; Weinstein, A. J.; Michalak, E. E.; Tam, E. M.; Meesters, Y.; Ruiter, M. J.; Horn, E.; Telner, J.; Iskandar, H.; Boivin, D. B.; Lam, R. W.: A controlled trial of the Litebook light-emitting diode (LED) light therapy device for treatment of Seasonal Affective Disorder (SAD). *BMC Psychiatry*, 2007.
- DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 12464-1; Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Berlin: Beuth, 2003.
- DIN Deutsches Institut für Normung: DIN 5031-10; Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Berlin: Beuth, 2000.
- Ehrenstein, W.: Das Auge stellt die biologische Uhr des Menschen – Konsequenzen für Lichtnutzung und Lichttechnik. Universität Hohenheim, Angewandte Physiologie. Tagung Licht und Gesundheit 2002, Berlin.
- Figueiro, M.: Research Recap: Light, Aging & the Circadian System – Reviving 'All that Jazz?'. In: *Lighting Design + Application* 33 (2002) Nr. 6, S. 8-11
- Frieling, H.: Farbe am Arbeitsplatz. München: Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, 1992.
- Fisch, J.: Licht und Gesundheit – Das Leben mit optischer Strahlung. Technische Universität Ilmenau. Ilmenau: Eigenverlag, 2000.
- Gall, D.: Die Messung circadianer Strahlungsgrößen. Tagung Licht und Gesundheit, 26.-27.2.2004, Berlin.
- Gall, D.; Vandahl, C.; Bieske, K.; Schmidt, A.; Hermann, R.; Blankenhagen, C.: Die Ermittlung von Licht- und Farbfeldgrößen zur Bestimmung der spektralen Wirkung des Lichtes. Tagung LICHT 2004, Dortmund.
- Glickman, G.; Byrne, B.; Pineda, C.; Hauck, W. W.; Brainard, G.: Light therapy for seasonal affective disorder with blue narrow-band light-emitting diodes (LEDs). *GC Biol Psychiatry* 59 (2006) Nr. 6, S. 502-507.
- Higuchi, S.; Motohashi, Y.; Liu, Y.; Ahara, M.; Kaneko, Y.: Effects of VDT tasks with a bright display at night on melatonin, core temperature, heart rate, and sleepiness. *J Appl Physiol* 94 (2003), S. 1773-1776.
- Jacob, S.: Solid-state Lighting: Today and Tomorrow. Presentation to Energy Technologies for Sustainable Building Workshop 2006, Vancouver.

- Jasser, S.; Hanifin, J.; Rollag, M.; Brainard, G.: Dim Light Adaptation Attenuates Acute Melatonin Suppression in Humans. *J Biol Rhythms* 21 (2006), S. 394.
- Krüger, H.: Visionen für eine bessere Beleuchtung. Tagung Licht- und Lebensqualität, 19./20.4.2007, Lüneburg.
- Lam, R.: Seasonal affective disorder and beyond: light treatment for SAD and non-SAD disorders. Washington, DC: American Psychiatric Press, 1998.
- Liberman, J.: Die heilende Kraft des Lichts – Der Einfluss des Lichts auf Psyche und Körper. 6. Aufl. München, Piper, 2005
- Lorincz, A.: The physiological and pathological changes in skin from sunburn and suntan. In: *Journal of the American Medical Association* 173 (1960), S. 1227-1240.
- Oltean, M.: Switchable Glass: A possible medium for Evolvable Hardware. NASA conference on Adaptive Hardware Systems, IEEE CS Press, 2006, S. 81-87
- Rea, M.: Light – Much More Than Vision. In: *Light and Human Health: EPRI/LRO 5th International Lighting Research Symposium*. Palo Alto: The Lighting Research Office of the Electric Power Research Institute, 2002, S. 1-15.
- Roenneberg, T.; Daan, S.; Mellow, M.: The art of entrainment. *Journal of Biological Rhythms* 18 (2003), S. 183-194.
- Spath, D.; Braun, M.; Grunewald, P.: Gesundheits- und leistungsförderliche Gestaltung geistiger Arbeit – Arbeitsgestaltung unter Einbeziehung menschlicher Eigenzeiten und Rhythmen. Bielefeld: Schmidt, 2004.
- Thapan, K.: An action Spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology* 535 (2001) Nr. 1, S. 261-267.
- Vos J. J.; van Meeteren, A.: Resolution and contrast sensitivity at low luminances, *Vision Research* (1972), 12:825
- Wandell, B. A.: *Foundations of Vision*. Sunderland: Sinauer, 1995.
- Ware, C.: *Information Visualization - Perception for Design*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2000.
- Wetterberg, L.: *Light and biological rhythms in man*. Stockholm: Pergamon, 1993.
- Wirz-Justice, A.; Roenneberg, T.: *Circadiane und Saisonale Rhythmen*. Zentrum für Chronobiologie, Psychiatrische Universitätsklinik, Basel; Zentrum für Chronobiologie, Institut für Medizinische Psychologie, Ludwig-Maximilians-Universität, München, 2004.
- Wright, H. R.; Lack, L. C.; Partridge, K. J.: Light emitting diodes can be used to phase delay the melatonin rhythm. *Journal of Pineal Research*, 31 (2001) Nr. 4, S. 350-355.