Studienarbeit: Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Tageslicht ist ein wichtiger Bestandteil im alltäglichen Leben. Ohne Licht kein Leben [1]. Licht ist für die Gebäude- und Raumgestaltung, sowie für Sehaufgaben notwendig.

Sehen soll auch bei schlechten Lichtverhältnissen verfügbar sein, was den Einsatz von künstlicher Beleuchtung notwendig macht. Wo kein oder zu wenig Tageslicht vorhanden ist, muss auf den Einsatz von künstlichem Licht gesetzt werden. [2, S. 162f.]

Licht liegt im Privathaushalt mit bis zu … % des Stromverbrauchs. [3] Dieser kann um bis zu 60-80% [4] eingespart werden, wenn Licht nur eingesetzt wird, um die Sehaufgabe bei nicht ausreichendem Tageslicht zu erfüllen.

1. Grundlagen

Mit den Grundlagen wird die Basis geschaffen, auf der ein Entwicklungsprojekt entstehen kann. Nachfolgend sollen die Bedingungen und Voraussetzungen der Anwendung dargestellt werden.

* 1. Bedeutung von Helligkeit

Das Tageslicht ist ein Faktor, der für die Planung der Innenbeleuchtung viel variabler als künstliche Beleuchtung ist. Seine Größe ist von der Ausrichtung und Position des Gebäudes sowie dem Wetter abhängig. Es hat eine andere Lichtfarbe als das künstliche Licht. Dabei muss der Tageslichtquotient D anteilig nach prozentualer Größe einberechnet werden. Unter einem Prozent Anteil des Tageslichtes im Raum wirkt er nach außen abgeschlossen, die Helligkeit wird als dunkel bis gedämpft empfunden. Zwischen drei und sechs Prozent öffnet sich der Raum, das Helligkeitsempfinden des Menschen ist nun gedämpft bis mittelhell. Ab 12% wirkt der Raum offen und hell bis sehr hell. Das kann meistens direkt am Fenster bemerkt werden. [2, Tabelle S. 162] Durch die Kombination von Tageslicht mit künstlicher Beleuchtung kann künstliches Licht dosiert eingesetzt werden, wenn Tageslicht nicht genügend Helligkeit erbringt. Eine geplante räumliche Anordnung erleichtert die Reduktion von künstlicher Beleuchtung, indem beispielsweise Arbeitsplätze in die Nähe von Fenstern und Zirkulationszonen mehr in den Innenbereich des Raumes oder Gebäudes verlegt werden. Bei einer solchem Kombination ist darauf zu achten, dass die Lichtfarbe des künstlichen Lichtes möglichst neutralweiß ist, um Zweilicht zu vermeiden. [2, S. 155ff.] Abends soll die Beleuchtung im Wohnbereich derart eingestellt sein, um Behaglichkeit zu vermitteln. [2, S. 231f.]

Der Mensch hat unterschiedliche Empfindungen, die über das Auge, über das Sehen Reize auslösen. Neben der Wahrnehmungskonstanz, dem visuellen Empfinden, der körperlichen Empfindung und der Hellempfindung, gehören auch die Adaptionsfähigkeit und die Farbempfindung zu den Eigenschaften des menschlichen Sehens. Die Wahrnehmungskonstanz beschreibt das Ausblenden von vorhandenen Objekten und das Ergänzen von Fehlendem. [2, S. 19f.] Die Hellempfindung eine lichtabhängige Empfindung, bei der sich das Auge automatisch an die aktuellen Helligkeitsverhältnisse anpasst. Diese ist jedoch individuell empfindbar, abhängig von der Sehschärfe des Menschen, die im Alter nachlässt. Die Adaptionsfähigkeit des Auges ist enorm. Sie wird ebenfalls individuell empfunden, lässt im Alter nach, wenn sich der Blickwinkel verringert. Die Farbempfindung ist ebenfalls sehr individuell. Durch die visuelle Empfindung ist das Unterscheiden von Farben und Licht möglich. Nur durch Licht und Farbe kann sich ein Objekt von seiner Umgebung abheben. Die körperliche Empfindung wird durch Licht, besonders durch UV- und IF-Strahlen in großem Maße beeinflusst. Die Strahlungen werden im gesamten Körper bemerkt. Sie erwirken eine emotionale Auswirkung und sind zeit-, umgebungs-, stimmungs- und personenabhängig. Das bedeutet, ein Mensch kann mehr oder weniger durch einen trüben und regnerischen Tag in seiner Stimmung negativ beeinträchtigt werden, wobei sich ein Tag mit strahlendem Sonnenschein mehr oder weniger positiv auf die Stimmung des Menschen beeinträchtigt. Das Ausmaß der Beeinträchtigung ist individuell. [2, S. 20f.]

Das Auge ist nicht objektiv, sondern passt seinen Empfindlichkeitsstandard an das jeweils vorherrschende Lichtniveau an. Dabei wird die physikalisch gegebene Helligkeit relativiert und daraus als hell oder dunkel quantifiziert. Wie der Temperaturempfindung warm und kalt unterliegt die Helligkeit keiner numerischen Skala mit Nullpunkt, damit kann kein Absolutvergleich erfolgen. Die Lichttechnik ist hierbei auf messbare und vergleichbare Messdaten angewiesen, sogenannte adaptionslose Licht-Messgeräte. Einem subjektiv-empirischen Relativ muss ein objekt-numerisches Relativ zugeordnet werden. Dabei soll der physikalische Messvorgang die physiologischen Gesetzmäßigkeiten des Menschen, der Augen berücksichtigen. Dies erfolgt in einem Brückenschlag zwischen Physik und Menschen. [6, S. 13]

Die Psychophysiologie der visuellen Wahrnehmung beschreibt die Relation der Informationsverarbeitung über das Auge mit den Umgebungseigenschaften. So sorgt eine schlechte Beleuchtung für Blendung, Adaptionswechsel und einer falschen Leuchtdichteverteilung. Dementgegen sorgt eine gute Beleuchtung für blendfreies und irritationsfreies Sehen sowie stabile Wahrnehmungsbedingungen. Störungsfreie Beleuchtung erleichtert und verbessert den Informationsverarbeitungsprozess im Gehirn. [6, S. 55f.]

Das Tageslicht unterliegt Schwankungen, das sich mit Tages-, Jahreszeit, Bewölkungszustand und Himmelsrichtung des Himmels ändert. Auch die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, also seine Temperatur verändert sich mit. Die Abendsonne hat mehr Rotanteil, der klare Nordhimmel hat mehr Blauanteil im Spektrum. Sie entlocken mit kalter, also höherer und mit warmer, also niedrigerer Temperatur ein charakteristisches Lichtmilieu. [6, S. 45] Für das Raummilieu hat die Beleuchtung eine große Bedeutung. Durch ihre stimulierende Wirkung können Räume unterschiedlich empfunden werden. Das Raummilieu ist eine objektive Abstimmung der Oberflächenhelligkeit im In- und Umfeld. Das Milieu als psychologische Komponente für Wohlbefinden und Behaglichkeit stellt archaisch-biologische Gründe auf, warum nicht jede Kombination von Helligkeit und Beleuchtungsstärke als angenehm empfunden wird. In der Natur treten maximale Beleuchtungsstärken und Helligkeit üblicherweise mit hohen Farbtemperaturen auf. Das wird durch das hell-weiß des Tageslichtes, besonders bei blauem Himmel wahrnehmbar, bei untergehender Sonne sinkt die Lichtmenge und Farbtemperatur des Lichtes durch steigenden Rotanteil im Abendrot. Durch die naturgegebenen Verbindungen der Helligkeit und Lichtfarben sind bei der Verwendung von Kunstlicht auf deren psychologische Behaglichkeitsgrenzen zu achten. Nach Kruithoff und Wald existiert ein eingeschlossener Bereich, der ein angenehmes Verhältnis zwischen Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe kennzeichnet. [6, S. 46]

Wenn ein Gebäude mit Lichtquellen höherer Farbtemperaturen wie weißer oder Tageslichtfarbe mit zu geringer Helligkeit beleuchtet wird, also weniger als 300 Lux, können künstliche Dämmerungserscheinungen erzeugt werden. Der Effekt wird vom Helligkeitsempfinden des Auges überlagert und unterstützt, da nur sekundär reflektiertes Licht erkannt werden kann. [6, S. 47]

* + 1. Für den Menschen
    2. Für das Gebäude
    3. Für die Natur
  1. Bedeutung von Farbempfinden

Durch die Berücksichtigung der mittleren Helligkeit entstehen Farbeindrücke im menschlichen Gehirn. Diese entstehen durch die Farbkonstanzleistungen des Gehirns und entstehen im 3D-Farbraum. Eine Farbwahrnehmung ist erst ab einer bestimmten Helligkeit möglich. Die Farbwahrnehmung findet individuell statt. Durch eine metamere Farbgleichheit können unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen des jeweiligen Lichtes gleiche Farbreize bei verschiedenen Menschen auslösen. Dabei erscheinen gemischte Farben ähnlich wie eine reine Farbe. Dies ermöglicht das Nachbilden der Realität mit schmalbandigen Lichtquellen. Die Farbe eines Objektes wird auch bei einer Änderung der Lichtverhältnisse als annähernd konstant betrachtet. So wird durch eine leichte Verschiebung der Farbwahrnehmung im Auge eine gleiche Farbe bei Sonnenauf- und Sonnenabgang erkannt. Der Mensch hat nicht nur die Fähigkeit zur konstanten Wahrnehmung einer Farbe, er hat auch die Fähigkeit zur sogenannten Farb-Empfindung. Diese beschreibt die individuellen und situationsbedingten Assoziationen, der Mensch mit dem Objekt hat. In der Psychologie existieren sogenannte Gedächtnisfarben. Durch sie werden gleiche Farben nur bedingt als gleich wahrgenommen. Diese Erinnerung der Assoziation des Objektes mit einer Farbe werden in der Farbmetrik als Problem angesehen. [2, S. 23f.]

Es existieren verschiedene Farbmodelle, von denen jedes Modell Grundfarben definiert, auf deren Basis die einzelnen und gemischten Farben dargestellt werden. Einige bekanntere Farbräume sollen nachfolgend kurz dargestellt werden. Die quantitative Darstellung stellt die Farben mithilfe von Zahlen dar. Hierbei wird jede Farbe als ein Punkt im Farbraum dargestellt. Der maximale Umfang des Farbraums ist von der Reinheit der Grundkomponenten abhängig. Unterschiedliche Farbräume sind nicht deckungsgleich, können in Relation zueinander angegeben oder nicht ineinander umgerechnet werden. Dabei wird zur Referenz der Farbraum des CIE-Lab-Modells einbezogen. [2, S. 25] Der RGB-Farbraum wird durch die Ur-Farben Rot, Grün und Blau definiert. Der Farbraum bildet ein additives Farbmodell. Daraus lassen sich acht Grundfarben mischen, unter Anderem Rot, Grün, Blau, Rot und Blau als Magenta, Grün und Blau als Cyan. [2, S. 25f.] Der CYMK-Farbraum wird häufig in der Fotografie verwendet. Er stellt eine subtraktive Farbmischung dar, dessen Filterschichten Yellow (Gelb), Magenta und Cyan, Schwarz und Weiß entstehen. Durch das Überlappen der verschiedenen Filterschichten können Farben gemischt werden. Der Farbraum ist besonders für die Druckindustrie wichtig, sehr wichtig ist hierbei schwarz, damit kann ein Vierfarben-Druck entstehen. Der CIE-Lab-Farbraum wurde von der Commission Internationale d’Eclairage, der internationalen Beleuchtungskonferenz abstrakt festgelegt. Seit 1931 ist der Farbraum ein internationaler Standard. Er basiert auf dem 3D Lab-Farbraum, der sich an physiologischen Eigenschaften der menschlichen Farbwahrnehmung, also der Buntheit und Helligkeit orientiert, nicht an physikalischen Messgrößen. Dabei entsprechen die geometrisch berechenbare Abstände zweier Farbkoordinaten den visuell wahrgenommenen Abständen. Dadurch ist eine visuelle Gleichbeständigkeit gegeben. Die Achsen des Lab-Raums entsprechen den wahrnehmbaren Eigenschaften der Farben. HIER BILD EINFÜGEN. Der Farbraum steht symbolisch für alle, für das menschliche Auge wahrnehmbaren Farben. [2, S. 25ff.]

Farben werden nur bei Licht wahrgenommen. Als Empfindung veranlasst es die Rezeptoren im Auge zu einer Nervenregung, die an das Gehirn weitergeleitet wird und dort als Farbe wahrgenommen und empfunden wird. Farbe betrifft nur die Wellenlängen, die zwischen UV- und IF-Licht liegen. Farben werden unterschiedlich wahrgenommen. Das Gehirn wandelt unter Berücksichtigung der mittleren Helligkeit und seiner Farbkonstanzleistung die Farbeindrücke in drei Parameter um: Weiß, schwarz, rot, grün, blau, gelb. Der 3D-Farbraum kommt der subjektiven menschlichen Wahrnehmung am nächsten. Die darin erhaltenen Farben werden von Menschen als die reinsten empfunden.

Die Hellempfindlichkeit und Farbkonstanz-Wahrnehmung wird in drei Sehvorgängen aufgeteilt. Diese Wahrnehmungskurven verschieben sich im Tagesverlauf. Das Fotopische Sehen stellt den Sehvorgang am Tag dar. Ab mehr als 3,4 cd/m² wird das Farbsehen des Auges angeregt, um Licht in drei verschiedenen Wellenlängenbereichen wahrzunehmen. Das Empfindlichkeitsmaximum der Rezeptoren liegt bei der jeweiligen Wellenlänge blau, grün und rot. Diese Bereiche überschneiden sich, dadurch wird ein kontinuierliches, nicht lineares Sehen im gesamten spektralen Farbraum ermöglicht. Die höchsten Empfindungen des Menschen liegen bei 638 Lumen pro Watt, das ist bei einer Wellenlänge von 555 Nanometer (nm), bei der Farbe Grün. Das Skotopische Sehen beschreibt den Sehvorgang bei Nacht. Es werden nur die Rezeptoren des Auges angesprochen, die Sehen von schwarz-weiß ermöglichen. Der Empfindlichkeitsbereich der Rezeptoren zum Farbsehen lässt sie nachts stärker auf Blau ansprechen, während rotes Licht fast ausschließlich durch Fotopisches Sehen wahrgenommen wird. Das Mesopische Sehen beschreibt die Konstanz der Sehleistung, dass die Farbe eines Objektes dennoch annähernd konstant wahrgenommen wird. Das erfolgt durch eine leichte Verschiebung der Farbwahrnehmung im Auge. Die Spitze der Tageslichtkurve liegt bei 550nm, im Grün-Bereich. Die Spitze der Nachtwahrnehmung liegt hingegen bei 510nm, im Blau-Grün-Bereich. Die Circadiane Hellempfindung weicht dabei noch stärker in Richtung Blau ab.

Ein Farbeindruck entsteht, wenn Helligkeit auf eine Fläche fällt und von dort reflektiert wird. Das Objekt wird einen Teil der Lichtstrahlen absorbieren, erst mit dem Treffen des reflektierten Lichtes im Auge entsteht der Farbeindruck. Die farbspektrale Zusammensetzung des Lichtes ist ein wichtiger Faktor für den Farbeindruck. Die am meisten verwendeten Farbmodelle zur Darstellung von Farben sind RGB, CYMK und CIE-Lab. RGB wird aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau definiert. Diese Darstellung wird häufig für Computer und Fernseher, in der Fotografie und für Lichtmischungen bei Farbspielen verwendet. CYMK wird aus den Komponenten Cyan, Magenta, Yellow (Gelb) und Key (Schwarz) definiert. Diese Darstellung wird häufig in der Druckindustrie und der Fotografie verwendet. Das CIE-Lab besteht aus den Grundwerten L (Lightness, Helligkeit) und abstrakte Werte a und b. Die Achse a beschreibt die Rot-Grünen, b die Blau-Gelben Farben, L steht für Schwarz-Weiß. Die Zwischentöne werden komplett aus den Grundfarben gestaltet. Diese Darstellung wird häufig für Lichtfarben bei Lichtinszenierungen verwendet.

Die Farbwirkung auf das Auge wird individuell wahrgenommen. Farben haben eine große Bedeutung und werden oft als Symbole verstanden und empfunden. Innerhalb und zwischen Farben bestehen veränderliche Kontraste, die bei gleichbleibender Größe den optischen Eindruck verändern können. Der Metamere Farbeindruck beschreibt die unterschiedlichen spektralen Zusammensetzungen, die bei Menschen dieselben Farbeindrücke hervorrufen können. So können Rot und Blau, zwei Wellenlängen der auf der Skala gegenüber liegenden Farben denselben Eindruck wie ein rein violettes Licht erwecken.

Der Farbeindruck verändert sich ebenfalls mit dem Verwenden der künstlichen Beleuchtung. Dabei emittieren die Leuchtmittel selbst die Lichtfarben, die die Farben des Tageslicht nachbilden. Wichtig für die Lichtgestaltung ist das Variieren der Farbeindrücke, so sind Leuchtstoff-Lampen und LEDs in verschiedenen Lichtfarben erhältlich. Das Tageslicht trifft mit all seinen Schattierungen die beste Lichtfarbe, es vereint alle Farben und erscheint damit als weißes Licht. Wenn keine Kontraste vorhanden sind, sind keine Farbgrenzen mehr sichtbar.

Die unterschiedlichen Farben haben verschiedene Wirkungen auf den Menschen. Darunter beispielsweise Rot als Farbe des Feuers, Ausdruck für Kraft und Wärme, wirkt reizend. Gelb hingegen symbolisiert die Sonne und wirkt beruhigend. Weiß steht für die Reinheit, die Neutralität, das Leere und das Licht. Farben verändern sich im Licht, abhängig von Tageslicht oder künstlichem Licht. Die Empfindlichkeit des menschlichen Auges variiert mit der Wellenlänge des Lichtes. Eine grüne Lichtquelle erscheint viel heller als eine rote oder blaue mit derselben Leuchtdichte. Die Lichtquelle hat bei künstlichem Licht eine entscheidende Bedeutung, sowohl die Lichtfarbe als auch die Art des Leuchtmittels sind wichtig. So haben Glühlampen eine andere Farbgebung als eine Leuchtstoff-Lampe, bei einer LED ist die Entstehung der Lichtgebung entscheidend.

Nicht jedes weiße Licht ist weiß. Es gibt ein gelbliches Weiß, rötliches Weiß, Weiß, bläuliches Weiß und grünliches Weiß. [5, S. 21ff.]

* 1. Bedeutung der Leuchtenauswahl

Bei niedriger Farbtemperatur, wie von Glühlampen und Halogenglühlampenlicht, 2.800K bis 3.000K werden bereits Beleuchtungsstärken von 50-100 Lux als angenehm empfunden. Zu hohe Helligkeiten tendieren bei warmem Licht zu gewisser Unbehaglichkeit. Ein niedriges Beleuchtungsniveau passt sich nach dem Farbton einer warmweißen Lichtquelle, wie Glühlampen oder Leuchtstoff-Lampen warm-weiß, besser an, er wirkt behaglicher als tageslichtweiße Lichtquellen mit sehr hoher Farbtemperatur. Beleuchtungen von Leuchtstoff-Lampen mit einer Farbtemperatur von 4.000K bis 5.000K, hell-weiße, tageslichtweiße Lichtfarbe, müssen mindestens Beleuchtungsstärken von 300-400 Lux aufweisen, um als angenehm empfunden zu werden. Mit zunehmendem Beleuchtungsniveau steigt die Leuchtdichte im Gesichtsfeld und die Farbtemperatur des Lichtes. Solche Kombinationen sind physiologisch harmonischer. Tageslicht weißt sehr hohe Helligkeiten im Bereich von 5.000 bis 30.000 Lux bei bedecktem Himmel und bis zu 100.000 Lux bei klarem Himmel auf. Das weiße Licht der Tageslichtlampen steht mit 4.000 bis 10.000 Lux sehr vielen Kunstlampen gegenüber, da der Mensch bei hohen Farmtemperaturen (Tageslicht) an viel Licht gewöhnt ist und biologisch daran angepasst ist. Die Farbabstimmung kann bei einem weitestgehend kontinuierlichen Spektrum oft nicht mehr auf die eigentliche Lichtfarbe der Lichtquelle schließen. Versuche mit warm-rötlichen Licht einer Glühlampe wird beispielsweise als kalt empfunden, wenn es blendfrei auf eine graue Fläche strahlt und der Beobachter die Glühbirne nicht sieht. Umkehrt kann eine Leuchtstoff-Lampe mit 5.000 Lux, hoher Farbtemperatur und einem tageslichtweißen Licht, die unter den selben Voraussetzungen eine gelbe Wand anstrahlt, als warm empfunden. Dies wird durch eine gerichtete Messung auf die Materialfarbe quantitativ und objektiv belegt. [6, S. 47]

Die Planung einer Beleuchtungsanlage muss auf die Interaktion von Modulationskomponenten der Lichtquellen mit den Texturen, der Strukturen, Farben und Reflexionseigenschaften der Gegenstände und Raumbegrenzungsflächen achten. Nur durch das integrative Ineinanderwirken der Eigenschaften der Lichtquellen und Materialien entsteht ein optisches Gesamtbild des Raumes bzw. Gebäudes, das als Milieu empfunden wird. [6, S. 47f.] Ein Lichtplaner bringt großes Wissen und Erfahrung in die tätigkeitsspezifische und ökonomische Optimierung einer Beleuchtungsanlage ein. Es existieren keine verbindlichen Regeln, da jeder Raum einzeln abzustimmen ist. [6, S. 48]

* 1. Raumgröße, Lichteinfall/Raumnutzung

Räume mit geringerer Helligkeit finden eine höhere Akzeptanz, wenn Lichtquellen mit niedriger Farbtemperatur verwendet werden. Mit hoher Farbtemperatur sollen auch hohe Helligkeiten auftreten. Das Kriterium hierfür ist der Dämmerungseindruck. Die Behaglichkeit des Kunstlichtes, des sekundären Lichts ist nicht gänzlich erfassbar, da die Philosophie für das Raumkonzept zur Schaffung eines finalen Erscheinungsbildes darüber hinaus geht.

Durch unterschiedliche Strukturen und Texturen, verschiedene Reflexionseigenschaften von Bodenbelägen bestimmt das reflektierte Licht den Farbort des Materials im (CIE-)Farbdreieck. Warme und kalte Bodenbeläge lassen sich über ihren Farbabstand im Farbdreieck gegeneinander vergleichen, verschiedene Beläge lassen sich bei gleichem Primärlicht und gleichem Belag in wechselndem Primärspektrum vergleichen.

* 1. Europäische, Deutsche Standards DIN EN
  2. KNX-Standard und vergleichbare Standards

1. Stand der Technik
2. Anforderungen und Zielsetzung
3. Konzept
4. Entwicklung und Implementierung
5. Verifikation und Fazit
6. Ausblick
7. Quellen

[1]

[2] Philippe P. Ulmann, Licht: Beleuchtung

[3]

[4]

[5] Philippe P. Ulmann, Licht und Beleuchtung – Handbuch und Planungshilfe

[6] Christian Bartenbach, Walter Witting, Handbuch für Lichtgestaltung – Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen