Inhaltsverzeichnis

[1. Einleitung 2](#_Toc71139001)

[2. Grundlagen 3](#_Toc71139002)

[2.1. Bedeutung von Helligkeit 3](#_Toc71139003)

[2.2. Bedeutung von Farbempfinden 6](#_Toc71139004)

[2.3. Raumgröße, Lichteinfall/Raumnutzung 11](#_Toc71139005)

[2.4. Europäische, Deutsche Standards DIN EN 19](#_Toc71139006)

[2.5. KNX-Standard und vergleichbare Standards 19](#_Toc71139007)

[3. Stand der Technik 20](#_Toc71139008)

[4. Anforderungen und Zielsetzung 21](#_Toc71139009)

[5. Konzept 22](#_Toc71139010)

[5.1. Anzahl der Lampen nach empfohlener Leuchtstärke im Raum berechnen 22](#_Toc71139011)

[5.2. Auswahl der Lampen ausgewählter Hersteller hinzufügen 23](#_Toc71139012)

[5.3. Fenster im Raum hinzufügen 23](#_Toc71139013)

[5.4. Darstellung des Raumes für den Benutzer mit Eingabe-Parametern 23](#_Toc71139014)

[6. Entwicklung und Implementierung 24](#_Toc71139015)

[7. Verifikation und Fazit 25](#_Toc71139016)

[8. Ausblick 26](#_Toc71139017)

[9. Quellenverzeichnis 27](#_Toc71139018)

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 ist das Erkennen von Farben und Formen von Objekten. [QUELLE?] Es 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.]

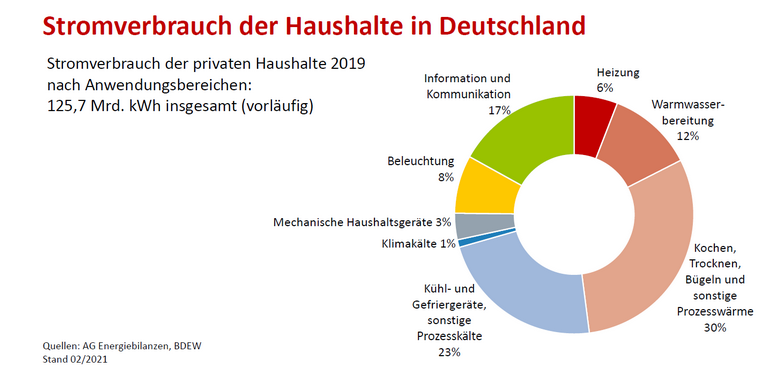


Abbildung 1: Stromverbrauch der Haushalte in Deutschland

Aus Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass Licht in deutschen Privathaushalten mit etwa 3.028 kWh pro Jahr (Stand 2019) bis zu 8% des gesamten Stromverbrauchs bildet. Dieser kann um bis zu 25 bis 58% eingespart werden, wenn Licht nur eingesetzt wird, um die Sehaufgabe bei nicht ausreichendem Tageslicht zu erfüllen, sowie durch den Einsatz moderner Elektroinstallationssysteme. [7, S. 56ff.]

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

Helligkeit ist das vom Auge wahrgenommene, vorherrschende Lichtniveau, das als physikalisch gegebene Helligkeit in der Lichttechnik vorzufinden ist. Diese Größe wird relativiert und in hell oder dunkel quantifiziert. Es gibt keine numerische Skala mit Nullpunkt und Absolutvergleich. Um die Helligkeit dennoch als Messdaten in der Lichttechnik verwenden zu können, ist es erforderlich, ein subjektiv-empirisches Relativ auf ein objektiv-numerisches Relativ abzubilden. Dabei soll der physikalische Messvorgang als auch die physiologischen Gesetzmäßigkeiten des menschlichen Auges berücksichtigen. [6, S. 13]

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist die wahrgenommene Helligkeit. Diese ist entscheidend für die Beleuchtungsstärke, sowie auch der Reflexionsgrad, den die Fläche abstrahlt. Es wird empfohlen, eine Beleuchtungsstärke von 1.500 Lux zu halten, um eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux auf Augenhöhe zu erhalten. Die Farbtemperaturen sind dem Tageslicht nachempfunden: Morgens und abends sorgt warmrot für Entspannung, Blauanteile sorgen mittags für Aktivität. [8, S. 202f.]

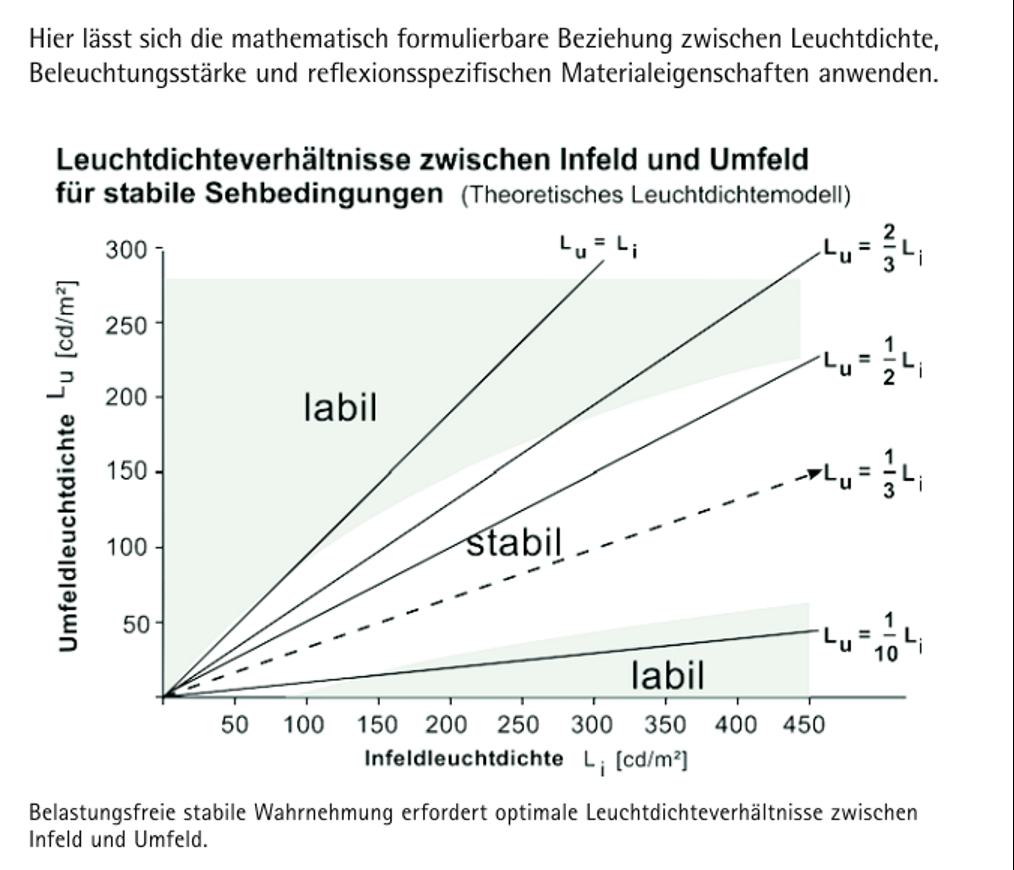


Abbildung 2: Verhältnis der Leuchtdichte zwischen Infeld und Umfeld

Abbildung 2 zeigt die Beziehung , die einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Lichtleistung der Infeldleuchtdichte und der Umfeldleuchtdichte herstellt. Um stabile Sehbedingungen zu schaffen, muss die Beziehung im ausgewogenen Verhältnis von Infeld und Umfeld liegen. Diese liegt bei etwa oder der Infeldleuchtdichte. [6, S. 145]

Menschliches Auge

Der Mensch hat unterschiedliche Empfindungen, die über das Auge Reize auslösen. Neben der Wahrnehmungskonstanz, dem visuellen Empfinden, der körperlichen Empfindung und der Hellempfindung, gehören auch die Adaptionsfähigkeit und Farbempfindung zu den Eigenschaften des menschlichen Sehens. Die Wahrnehmungskonstanz beschreibt das Aussehen von vorhandenen Objekten und das Ergänzen von Fehlendem. [2, S. 19f.]

Wirkungsbereiche

Im Alter liegt die Anforderung an die Beleuchtungsstärke dreimal so hoch, wie in jungen Jahren. Licht hat drei Wirkungsbereiche: Sehen, die biologische Wirkung, und Wohlbefinden. Die biologische Wirkung ist derzeit noch wenig erforscht. Durch Licht wird der circadiane Rhythmus des Menschen gesteuert. Dieser Rhythmus reguliert die innere Uhr, die Synthese von Vitamin D und den Aufbau der Knochen. Menschen mit Depressionen und Demenz erfahren eine Linderung der Symptome durch viel Licht und Beleuchtung. Durch circadiandes Licht kann der Schlaf-Wach-Rhythmus von Menschen mit Demenz stimuliert werden. Circadianes Licht beschreibt die Nachempfindung des künstlichen Lichtes nach dem natürlichen Tagesverlauf. [8, S. 202f.]

Die Hellempfindung ist eine lichtabhängige Empfindung, bei der sich das Auge automatisch an die aktuellen Helligkeitsverhältnisse anpasst. Sie ist individuell erlebbar, abhängig von der Sehschärfe des Menschen. Die Adaptionsfähigkeit des Auges ist enorm. Sie wird ebenfalls individuell empfunden, sie lässt wie die Sehschärfe im Alter nach, wenn sich der Blickwinkel verringert. Die Farbempfindung ist 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 wirken sich auf den gesamten Körper aus. Sie erwirken emotionale Auswirkungen und sind zeit-, umgebungs-, stimmungs- und personenabhängig. Das bedeutet, ein Mensch kann mehr oder weniger durch einen trüben und regnerischen Tag in seiner Stimmung beeinträchtigt werden, wobei sich ein Tag mit strahlendem Sonnenschein mehr oder weniger positiv auf die Stimmung des Menschen auswirkt. Das Ausmaß der Beeinträchtigung ist individuell. [2, S. 20f.]

Tageslicht

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 anteilig nach prozentualer Größe in die Lichtplanung einberechnet werden. Ab 12% wirkt der Raum offen und hell bis sehr hell. Das wird üblicherweise direkt am Fenster bemerkt. Zwischen drei und sechs Prozent öffnet sich der Raum. Die Stimmung wird als gedämpft und mittelhell empfunden. Unter ein Prozent Tageslichtquotient wirkt der Raum nach außen hin abgeschlossen, er wird als dunkel empfunden. [2, S. 172]

Kombination

Durch die Kombination von Tageslicht mit Beleuchtung kann künstliches Licht dosiert eingesetzt werden, wenn Tageslicht nicht ausreichend Helligkeit in den Raum bringt. [2, S. 155f.] Helligkeit wird als invariante Größe betrachtet. Das Auge kompensiert unbewusst die Helligkeit und die Farbe, die durch Licht wirkt. Sie lässt das Auge bei relativ lichtarmen Bedingungen empfindlicher werden. [6, S. 62]

Wohlbefinden

Visuelle Informationen sind nicht nur für das Leistungsvermögen, sondern auch für das allgemeine Wohlbefinden unentbehrlich. Dunkelheit verursacht Beklemmung und Orientierungslosigkeit. Subjektive Sicherheit und Wohlbefinden sind erst dann gegeben, wenn der Raum dem Betrachter ein prüfendes Erkundungsverhalten ermöglicht. Je mehr Klarheit und visuelle Fassbarkeit Informationen aus der Umgebung besitzen, desto höher steigt die freie Verarbeitungskapazität des Gehirns und bleibt für andere, aufgabenbezogene Tätigkeiten unbelastet verfügbar. Im ungünstigen Fall führt das Erkundungsverhalten zu einer Ablenkung von der eigentlichen Tätigkeit. [6, S. 171]

* 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. 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.]

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

Licht bildet in einem Raum die vierte Dimension. Nur durch Licht entfaltet sich die Dreidimensionalität. [8, S. 99] Da jede Lichtgestaltung eigene Maßstäbe für die Farbgestaltung, die Sättigung und Helligkeit der Farbnuancen, die Hell-Dunkel-Verteilung im Raum und die Materialität der Farbe setzt, ist es wichtig, mit einer Raumstimmung eine wohnliche Aufwertung zu erreichen. [8, S. 99] Der visuelle Raum wird durch die ihn begrenzenden Oberflächen bestimmbar und wahrnehmbar. [6, S. 163]

Lichtgestaltung

Licht bewirkt zwei verschiedene Auswirkungen auf die Raumstimmung. Mit der leichten, hellen Raum- und Tagesstimmung werden Denken und Erkennen assoziiert. Die Beleuchtung ist hier allgemein, nicht gerichtet und diffus angeordnet. Es entsteht nur sehr wenig Schatten. Atmosphärisch wirkt die resultierende Farbigkeit als Eigenschaft, den Raum zu erleben. Dem entgegen steht die gedämpfte, schwere Raum- und Nachtstimmung. Hierbei wird ein träumerisches Empfinden assoziiert. Die Beleuchtung muss hierbei diskret, punktuell und mit einer ausgeprägten Schattenbildung erfolgen. Durch seine Farbigkeit werden konkrete Eigenschaften von Objekten im Raum erlebt. [8, S. 99]

In der Lichtgestaltung muss zwischen den einzelnen Wohnräumen unterschieden werden. Die Beleuchtung eines Raumes ist von seinem Grundriss und seiner Nutzung abhängig. Eine ansprechende und ausreichende Beleuchtung sorgt für ein gutes Allgemeinbefinden und die vitale Gesundheit der Bewohner. Gute Beleuchtung hat die folgenden drei Funktionen: Die Grundbeleuchtung sorgt für eine Orientierung, eine Platzbeleuchtung unterstützt die Augen bei schwierigen Sehaufgaben, und schafft Atmosphäre im Raum.

Es werden drei Komponenten des Lichtes im Wohnraum unterschieden: Raum-, Zonen- und Stimmungslicht.

Raumlicht sorgt für eine gleichmäßige Ausleuchtung und schafft damit eine behagliche Atmosphäre. Es soll möglichst dimmbar sein und das Akzentlicht mit direktem weichen Licht unterstützen. Durch die Vermeidung von starken Kontrasten wird dem Ermüden der Augen vorgebeugt. Breit und diffus strahlende Wand-, Decken- und Stehleuchten sind hierfür geeignet.

Zur Betrachtung bestimmter Tätigkeiten, wie Essen, Lesen oder Arbeiten soll Zonenlicht verwendet werden. Dieses akzentuierende Licht wird durch Stehleuchten, Pendelleuchten und Tischleuchten erzeugt, es wird an die Wand oder nach unten gerichtet abgestrahlt. Diese Lichtkomponente soll sich vom Raumlicht abheben, um eine Akzentuierung des Raumes zu schaffen.

Um eine außergewöhnliche Atmosphäre im Wohnraum zu schaffen, soll auf Stimmungslicht gesetzt werden. Dieses entfaltet seine Wirkung besonders am Abend. Es steht für Gemütlichkeit und Faszination. [8, S. 100f.]

Häufig werden im Wohnraum Mischformen verwendet. Akzentlichter bringen die Wandgestaltung zur Geltung, erkennbare Raumbegrenzungsflächen und Diffusionskomponenten formen Räume und Oberflächen durch inszeniertes Licht und zusätzlich Schlagschatten und direkte Sonne verwendet. [8, S. 99ff.]

Nachfolgend sollen die unterschiedlichen Anforderungen an den Raum und die Lichttechnik zeigen. Das erfolgt anhand der privaten Räume Arbeitszimmer, Bad und Küche.

Das Arbeitszimmer im Haus soll eine Arbeitsplatzbeleuchtung enthalten, die Blendung des Arbeitenden und Schatten vermeidet. Zur Arbeit am Bildschirm müssen die beiden Norm-Reihen DIN 5035 (Beleuchtung mit künstlichem Licht) und DIN EN 12464-1 (Beleuchtung von Arbeitsstätten) herangezogen werden. Es wird hierbei eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux und ein Farbwiedergabeindex von Ra 80-100 empfohlen. [8, S. 101]

Im Bad liegt die Mindestanforderung an gutes Licht in Nähe des Spiegels. Ein harmonisches Licht- und Schattenspiel erzeugt ein wohnliches Ambiente durch Betonung von Konturen und Oberflächen. Da der Bad ein Feuchtraum ist, müssen die Leuchten entsprechend der Norm DIN VDE 0100 Teil 701 (Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art) bestimmte Schutzmaßnahmen aufweisen. Nach DIN EN 12464-1 liegt die empfohlene Beleuchtungsstärke bei mindestens 200 Lux. Je heller die Flächen im Bad sind, desto mehr Licht wirkt von ihnen reflektiert und zusätzlich in den Raum zurückgegeben. Es muss mindestens ein Farbwiedergabeindex von Ra 80 gegeben sein. Warmweiße Lampen erzeugen eine behagliche Lichtstimmung. [8, S. 101f.]

Das Licht in der Küche ist von Grundriss und Ausrichtung der Arbeitsflächen abhängig. Für gute Arbeitsbedingungen sorgt die Vermeidung von Blendung. Die Beleuchtungsstärke auf Arbeitsflächen soll mindestens 500 Lux betragen. Die Lichtfarbe warmweiß trägt zu einer wohnlichen Atmosphäre bei. Brandvorschriften und Zulassungen der Leuchten müssen bei Unterbauanordnungen beachtet werden. [8, S. 102]

Farbgestaltung

Um die Wirkung einer Farbe im Innenraum zu erschließen, muss die psychologische Wirkung einer Farbe erkannt werden. Sie solle eine positive Wirkung auf den Beobachter haben. Es gibt hierzu keine Vorschrift, jede Farbe löst einen bestimmten Reiz aus, auf die individuell reagiert wird. [8, S. 96]

Das Raumempfinden liegt ebenfalls beim Betrachter. Durch eigene Körpergröße und Bewerbungsmöglichkeiten wird eine Einschätzung der räumlichen Dimensionen vorgenommen. Hierzu wirken Farbigkeit, Formenvielfalt, Einrichtungen und die Beleuchtung auf das subjektive Empfinden ein. [8, S. 93]

Die Wirkung des Raumes wird durch seine Funktion, seine Architektur, sowie durch seine ästhetischen und Komfort-Eigenschaften bestimmt. Die soziale Wirkung beschreibt die seelischen und körperlichen Einflüsse auf die Farbe. So sollen die Farben Gelb, Orange und Weiß exemplarisch nachfolgend mit ihren Einflüssen auf die Psyche des Menschen dargestellt werden.

Gelb beschreibt Licht und Heiterkeit, wirkt öffnend, beruhigend und strahlend. Im Innenraum steht sie als leuchtende Farbe für Wärme und Energie, Kreativität und Aktivität. Sie wirkt gesprächsfördernd und vergrößert kleine und dunkle Räume.

Orange beschreibt Heiterkeit, Wärme und Lebensfreude. Die Farbe wirkt ebenfalls gesprächsfördernd und trägt zu einem angenehmen Raumklima bei.

Weiß steht für Reinheit und Transparenz, Helligkeit und Einfachheit. Die Farbe ist kombinationsfreundlich, jedoch wirkt sie kontaktarm und freudlos. [8, S. 93ff., 9, S. 15]

Grundsätzlich sind Kombinationen verschiedener Farben für eine Raumwirkung immer möglich, Neben den Grundfarben können Akzente gesetzt werden, idealerweise wenn diese Farben sich im Farbkreis gegenüber stehen. Warme Farben machen den Raum behaglich, durch grüne und sandfarbene Töne kann eine frische Stimmung erzeugt werden, dem entgegen wird durch Grau und Beige Eleganz vermittelt. Bei der Gestaltung des Raumes muss seine Funktion und seine Himmelsrichtung beachtet werden. Der Wohnbereich soll zum Wohlfühlen anregen, Kinderzimmer sollen anregend gewählt und bei der Küche muss unterschieden werden, ob der Raum nur zum Kochen verwendet wird oder auch zum Essen und Entspannen. [8, S. 97f.]

Materialien und Oberflächen

Die Wahl und Komposition von Farben und Materialien im Raum sollen hinsichtlich ihrer lichttechnischen und optischen Wirkung ausgewählt werden. Speziell bei durchsichtigen und durchscheinenden Materialien treten die drei folgenden Phänomene in unterschiedlichen Verhältnissen auf: Absorption, Reflexion und Transmission von Licht. Um eine bestimmte Helligkeit zu erzielen, muss eine relativ dunkle Fläche mit geringem Reflexionsgrad ρ mit wesentlich höheren Beleuchtungsstärken angestrahlt werden, als eine helle Fläche mit Reflexionsgrad.

Die nachfolgende Abbildung 3 veranschaulicht die Bedeutung von Energiekosten mit künstlichem Licht. Bei gleicher Beleuchtungsstärke E wird ein wesentlich höherer Anteil des Lichtes wieder reflektiert und steht dem Raum zu Verfügung. Bei gleicher Leuchtdichte L im Raum müssen wesentlich mehr Lichtquellen für die selbe resultierende Leuchtdichte aufgewendet werden. Das wirkt sich enorm in den Kosten für die Stromversorgung aus. [6, S. 145]

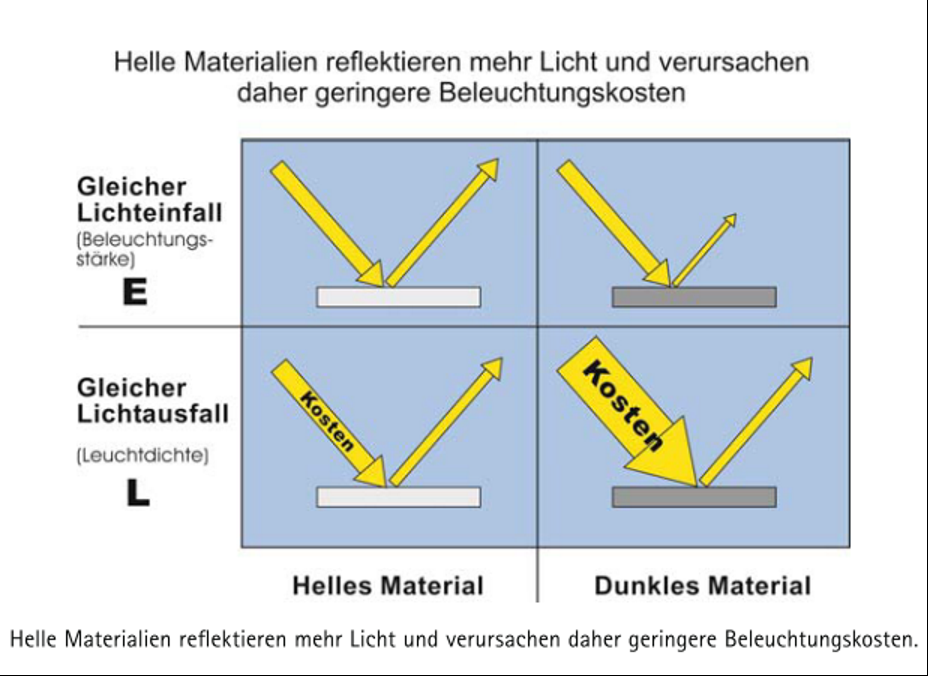


Abbildung 3: Vergleich von Lichteinfall, Material und resultierenden Kosten

Bei der Wahl von Farben, Materialien und Lichtquellen ist eine Aufteilung von gerichteter und diffuser Reflexion ein wichtiger Faktor für die Wahrnehmung. Auch die Effizienz lichttechnischer Systeme für den Einsatz von künstlichem Licht und Tageslicht entscheidend. Materialoberflächen können sehr unterschiedliche Reflexionen aufweisen. Im Anhang befindet sich Abbildung 2, sie zeigt die verschiedenen Reflexionsgrade von Materialien. Leuchtenbaustoffe besitzen teilweise mittlere bis sehr hohe Reflexionseigenschaften, Baukonstruktions-Materialien und Naturstoffe sehr geringe. Farbanstriche befinden sich nach Wahl der Farbe sehr variabel zwischen Reflexionswerten von 0,90 und 0,10. [6, S. 148]

Die Reflexionseigenschaft eines Materials gibt dem Betrachter darüber Aufschluss, wie seine Eigenschaften sind. Eine diffuse Oberfläche legt lichttechnisch und physikalisch fest, dass das Objekt mit der Oberfläche eine Festigkeit besitzt. Durch die zusätzliche Erfahrung weiß die Person, dass diffuse Oberflächen Sicherheit und Stabilität vermitteln. Diffuse Deckenflächen vermitteln hierbei eindeutige Begrenzungen des Raumes. Je heller die Farbe, desto höher ist sein Reflexionsgrad und desto höher wirkt der Raum. [6, S. 170, S. 193]

Die Oberfläche des Materials hat einen großen Einfluss auf die optische Wahrnehmung. Die Strahlung von Licht trifft mit einer bestimmten Beleuchtungsstärke an Oberflächen auf. Diese modulieren die Strahlen und trifft als reflektiertes Licht als Leuchtdichte L auf die Augen des Betrachters.

Die Formel beschreibt die Leuchtdichte [in cd/m²] über die Multiplikation der Beleuchtungsstärke [in Lux] mit dem Reflexionsgrad , dessen Produkt durch dividiert wird.

Ökologische Optik

Die ökologische Optik beschreibt das Definieren eines visuellen Raumes, der durch seine begrenzten Oberflächen wahrnehmbar wird. Das Licht wird hierbei hauptsächlich als Informationsquelle für die visuelle Wahrnehmung betrachtet. [6, S. 163]

Licht wurde 1982 von James J. Gibson durch drei Teilbereiche definiert:

* Als physikalische Energie, Licht als Strahlung
* Als Reiz zum Sehen, Licht als Empfindung
* Als Parameter der Umwelt, Licht als Information [6, S. 164]

Wahrnehmung

Demnach ist die Wahrnehmung von der Reizung der Augen des Betrachters als hinreichende Bedingung, aber auch von der Substanz und der Oberfläche des Objektes abhängig. Substanz beschreibt die innere Struktur des Materials, die Oberfläche beschreibt die charakteristische Textur und Form eines Objektes. Gibson zufolge, ist die Oberfläche wichtiger als die Substanz des Objektes, da hier Licht reflektiert oder absorbiert wird. [6, S. 156]

Das charakteristische Raummilieu entsteht demnach durch die Eigenschaft und die lichtphysikalische Beschaffenheit der Materialoberfläche. So können helle oder dunkle Wände, stark reflektierende oder matte Oberflächen das Strahlungslicht in das milieubestimmende Raumlicht modulieren. Es ist die Summe aller singulären Erscheinungsfelder im Gesichtsfeld, das über die genannte Komposition der Materialoberflächen zu einem ganzheitlichen Raumeindruck führt. [6, S. 191]

Durch die Verwendung heller Materialien können der Raum erhöht und Energiekosten niedrig gehalten werden.

Die beiden nachfolgenden Bilder zeigen anschaulich in einer Modellstudie im Frankfurter Flughaften sehr eindrucksvoll, wie sich die verwendeten Materialien im Raum auf das Milieu, die Beleuchtung und daraus resultierend in den Energiekosten des Primärlichtes auswirkt.



Abbildung 4: Dunkle Bestuhlung gibt wenig indirektes Licht ab



Abbildung 5: Helle Bestuhlung gibt viel indirektes Licht ab

Abbildung 4 zeigt die Bestuhlung im Raum mit schwarzen Stühlen. Der Raum wirkt düster. Bei gleichbleibender Bestrahlungsstärke wurden in Abbildung 5 weiße Stühle, als starken Kontrast zum vorherigen Test eingesetzt. Das Ergebnis führt zu einem einladender wirkenden Raummilieu, das ohne zusätzlichen Einsatz von Primärlicht den Raum deutlich erhellt. [6, S. 166f.]

Eine geplante räumliche Anordnung erleichtert zusätzlich die Reduktion von künstlicher Beleuchtung, indem beispielsweise Arbeitsplätze in die Nähe von Fenstern und Zirkulationszonen mehr in den Innenbereich des Gebäudes verlegt werden. Bei einer solchen Kombination ist darauf zu achten, Zwielicht zu vermeiden, indem die Lichtfarbe des künstlichen Lichtes möglichst neutralweiß ist. [2, S. 155f.]

Erst durch Zusammenwirken von Licht und Farbe, von Materialien und Formen wird das Wohlbefinden des Menschen beeinflusst und kann, sinnvoll eingesetzt, auch zur Regeneration, Entspannung und Erholung beitragen. [8, S. 102]

Gestaltung

Arbeitsplätze müssen ergonomisch ausgerichtet sein. Arbeit ist auf eine aktive, bewusste und zielgerichtete Informationsverarbeitung angewiesen. Diese Informationsquelle ist ein strukturiertes Reizangebot für die Infeld-Umfeld-Hierarchie des Arbeitsplatzes dar. Das Infeld beschreibt das fokussierte Sichtfeld, der Sichtbereich, in dem sich die eigentliche Sehaufgabe befindet. Das Umfeld beschreibt den direkt dazu angrenzenden Bereich. In diesem soll darauf geachtet werden, einen möglichst geringen Einfluss auf das Infeld zu haben. Dies kann beispielsweise durch auffällige oder zu helle Kleidung geschehen. [6, S. 187] Eine effiziente Lichtplanung soll auf die Sehaufgabe mit dem vorhandenen Licht abgestimmt sein. Dadurch wird der mentalen Belastung durch störungsfreie Beleuchtung entgegen gewirkt. Durch den Ausgleich der Leuchtdichtenverhältnisse im Raum wirkt diese strukturierte Beleuchtung der visuellen Monotonie und dem frühzeitigen Ermüdung der Augen entgegen. Das führt zu Leistungsmotivation und –fähigkeit. [6, S. 186]

Das Theoretische Leuchtdichte-Modell beschreibt die Abstimmung der Helligkeitsproportionen zwischen Infeldern und Umfeldern, damit belastungsfreie Wahrnehmungsbedingungen gewährleistet sind. [6, S. 188] Zur Bestimmung der Leuchtdichte im Infeld werden meistens Nennbeleuchtungsstärken für Sehleistungskriterien aus den Normen DIN 3053 Teil 1 und 2 herangezogen. Da die Länder sehr große Unterschiede in diesen Angaben der Normen haben, sind diese Vorgaben nur als Richtwerte zu sehen, konkrete und individuelle Lösungen sind nicht mit einbezogen.

* 1. Europäische, Deutsche Standards DIN EN

Für die Entwicklung einer Anwendung zur Beleuchtung im privaten Innenraum gehören die nachfolgenden Normen.

DIN 5035-1 Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 1: Begriffe und allgemeine Anforderungen, seit 2002 durch DIN EN 12665 ersetzt

DIN 5035-2 Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien, seit 2003 durch DIN EN 12646-1 ersetzt

DIN 5035-3 Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen

DIN 5035-7 Beleuchtung mit künstlichen Licht, Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen.

DIN EN 12646-1 Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten im Innenraum

DIN EN 12665 Licht und Beleuchtung, Grundlegenge Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung [8, S. 205ff.]

* 1. KNX-Standard und vergleichbare Standards

Eine Gebäudesteuerung kann zur Erhöhung des Wohnkomforts dienen und leistet damit einen Beitrag zur Einsparung von Energiekosten. Dies kann über verschiedene Maßnahmen in der Lichtsteuerung realisiert werden. So ist es sinnvoll, die Beleuchtung im Raum erst dann einzuschalten, wenn sich jemand im Raum befindet. Außenjalousien sollen im Winter automatisch die Wärme der Sonnenstrahlen in die Wohnräume lassen, im Sommer soll das Gebäude kühl gehalten werden. Über Smart Metering wird herausgefunden, wo und wann Energie verbraucht oder verschwendet wird. [7, S. 56ff.]

Grundlagen zur Gebäudeautomatisierung

Heute muss ein Gebäude Komfort, Flexibilität, eine intelligente Verknüpfung von Systemen, sowie Energie- und Betriebskostenminimierung bieten. [11, S. 8] Für den Einsatz von einer Beleuchtungssteuerung muss ein System vorhanden sein, das befehlsgebende und befehlsempfangende Geräte, also Sensoren und Aktoren besitzt. Die Wahl eines solchen Systems basiert auf den folgenden Kriterien:

* Flexibilität
* Dezentrale oder zentrale Steuerung
* Verkabelungsaufwand
* Funktionalität und Funktionsweisen
* Herstellerneutrales oder herstellerabhängiges System

Mit einem herstellerneutralen System werden weltweit offene Standards verwendet. Dabei liegt die Auswahl verschiedener Gebäudeautomatisierungen für Zweck- und Wohnbauten vor. Zunächst muss ein Installationsbus gewählt werden, auf dem das Automatisierungssystem läuft. Der Bus bildet die Schnittstelle zur Übertragung über das Medium. [11, S. 8f.]

Installationsbus

Home Electronic System [HES] wurde speziell für das private Wohnhaus entwickelt. Es verläuft über eine separate Twisted-Pair-Verkabelung. Hiermit ist eine vollständige Automatisierung gewährleistet durch Heizungs-, Beleuchtungs-, Jalousiesteuerung und viele weitere Überwachungsfunktionen.

Powernet überträgt die Kommunikation mit seinen Endgeräten vollständig über die vorhandene 230/400-Volt Installationsleitung. Kommt besonders bei einer nachträglichen Integration, aber auch bei Neuinstallation zum Einsatz.

EIB-Funk [Europäischer Installationsbus] stellt die Übertragung über Funk dar. Hierbei kommunizieren Sensoren und Aktoren ohne Verdrahtung miteinander. Busteilnehmer besitzen eine Batterieversorgung. Besonders bei Renovierungen, der Erweiterung bestehender Systeme und bei Neuinstallationen, häufig bei schwierigen Einbausituationen ist der EIB-Funk favorisiert. [11, S. 9]

Installationsbus-Systeme

Der EIB-Bus wurde ursprünglich für Zweckbauten entwickelt. Heute ist er in vielen Anwendungen enthalten, wie in Schaltern, Lichtsteuerungen und Jalousiesteuerungen. Die Dachorganisation des offenen Standards ist EIBA mit Sitz in Brüssel. Verfügbare Geräte und Software-Werkzeuge zur Programmierung sind für die Zertifizierung von Anwendungen nach dem EIB-Standard wichtig. [11, S. 7] Der Bus hat eine hierarchische Topologie. Dabei können klein geplante Anlagen in kleinen Schritten ausgebaut und veränderten Anforderungen angepasst werden. Störungen der Anlage betreffen nur kleinere Bereiche, nicht das gesamte System. Durch die dezentrale Steuerung, bei der jeder Sensor und Aktor einen Mikroprozessor enthält, kann die Intelligenz der Anlage mit der Anzahl der Komponenten gesteigert werden. [11, S. 11f.]

Der Local Operating Netzwerk [LON]-Bus stellt ein universelles Werkzeug der Automatisierung dar. Es wird seltener im privaten Wohnbereich als vielmehr in Zweckbauten zur Gebäudeautomation, Maschinensteuerung und in der Telekommunikation eingesetzt. Die grundlegende Technologie ist die LON-Works-Technologie, von der Firma Echelon Corporation entwickelt. Sie wird von Firmen wie Motorola und Toshiba in Lizenz hergestellt und ist frei verfügbar. Der Bus hat eine freie Topologie und besitzt ebenfalls eine dezentrale Steuerung. [11, S. 19f.] Mithilfe einer Neuron-ID können die Netzwerkkomponenten entweder manuell über Barcodes oder mit einer Service-Pin über die Konfigurationssoftware identifiziert werden. [11, S. 22]

Das Homeputer-Netzwerk zeichnet sich durch seine einfache Bedienbarkeit und geringen Kosten aus.

1. Stand der Technik
2. Anforderungen und Zielsetzung

Die Entwicklung des geforderten Tools soll in mehreren Teilschritten erfolgen:

1. Anzahl der Lampen nach empfohlener Leuchtstärke im Raum berechnen
2. Auswahl von Lampen ausgewählter Hersteller hinzufügen
3. Fenster im Raum hinzufügen
4. Darstellung des Raumes für den Benutzer mit Eingabe-Parameter
5. Implementierung einer Funktionalität zum Tageslicht-abhängigen Dimmen
6. Konzept
   1. Anzahl der Lampen nach empfohlener Leuchtstärke im Raum berechnen

Zunächst sollen in einem ersten Schritt auf Grundlage der empfohlenen Leuchtstärken im Raum die Anzahl der benötigten Lampen berechnet werden. Dazu sind die folgenden Parameter wichtig:

* Raumgröße (Länge, Breite)
* Wahl der Lampen
  + Auswahl des Strahlungswinkels
  + Leuchtleistung pro Lampe

Es soll zunächst davon ausgegangen werden, dass im gesamten Raum die selben Lampen verwendet werden. Um die Raumgröße zu berechnen, muss der Benutzeroberfläche eine Möglichkeit zur Eingabe gegeben werden. Um es dem Benutzer einfacher zu machen, sollen die Maße „Länge“ und „Breite“ einzeln eingegeben werden können. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der Raum rechteckig ist.

Die Wahl der Lampen soll zunächst vorgegeben werden. Es werden Glühlampen verwendet, mit den folgenden Eigenschaften. [Datenblatt einfügen]

Auf Basis dieser Angaben können die Anzahl der benötigten Leuchten, die daraus resultierende Lichtmenge bei mittlerer Leuchtdichte und mittlerem Reflexionsgrad der Objekte im Raum, sowie die aufzuwendende Energie für die Lichtleistung bestimmt werden. Diese sollen nach der Berechnung auf der Benutzeroberfläche ausgegeben werden. Damit soll eine gleichmäßige Helligkeit gewährleistet werden. [WEBSEITE]

Der erste Anwendungsfall soll eine Küche sein. Diese hat die folgenden Empfehlungen. [HIER EINFÜGEN, Buch Referenz einfügen]

Der zweite Anwendungsfall soll ein Arbeitszimmer sein. Dieser hat die folgenden Empfehlungen. [HIER EINFÜGEN, Buch und Verordnung Referenz einfügen]

Die Berechnung erfolgt in beiden Fällen auf den folgenden Gleichungen. Die Leuchtdichte Lv wird über den Reflexionsgrad der direkten Umgebung, der geforderten Leuchtstärke Ev und der Zahl berechnet:

Formel 1: Berechnung der Leichtdichte

* 1. Auswahl der Lampen ausgewählter Hersteller hinzufügen

Es soll dem Benutzer möglich sein, über die Anwendung eine eigene Lampe hinzuzufügen. Dazu sollen zunächst zwei Modelle verfügbar sein. Diese werden über eine Schaltfläche in einem eigenen Fenster angezeigt. Der Benutzer kann sich hier die Charakteristiken der jeweiligen Lampe einsehen. Diese Benutzeroberfläche wird nachfolgend schematisch dargestellt.

* 1. Fenster im Raum hinzufügen
  2. Darstellung des Raumes für den Benutzer mit Eingabe-Parametern
  3. Implementierung einer Funktionalität zum Tageslicht-abhängigen Dimmen

1. Entwicklung und Implementierung
2. Verifikation und Fazit
3. Ausblick

Im Bereich des Smart Homes kann eine Pyramide erstellt werden, die die Ausbaustufen einer solchen Heimautomatisierung darstellt. Das Fundament stellt eine strukturierte Gebäudeverkabelung dar. Je besser diese ausgestattet ist, desto leistungsfähiger kann der Automatisierungsbus sein, mit dem das Netzwerk gesteuert wird. [7, S. 65f.]

1. Quellenverzeichnis

[1]

[2] Philippe P. Ulmann, Licht: Beleuchtung und Gestaltung - Wie aus Licht eine gute Beleuchtung entsteht und was wir darüber wissen sollten, Projekte-Verlag Cornelius GmbH, ISBN 987-3-86634-725-0, 2011

[3]

[4]

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

[6] Christian Bartenbach, Walter Witting, Handbuch für Lichtgestaltung – Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen, Springer-Verlag, ISBN 978-3-211-75779-6, 2009

[7] Stefan Heinle, Heimautomation mit KNX

[8] Monika Holfeld, Licht und Farbe – Planung und Ausführung bei der Gebäudegestaltung, Beuth Verlang GmbH, ISBN 987-3-410-20655-2, 2013

[9] Syl Arena, Licht und Beleuchtung – Licht verstehen, mit Licht gestalten – Grundlagen für Fotografen, dpuknt.verlag GmbH, ISBN 987-3-86490-204-1, 2013

[10] [https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/stromverbrauch-der-haushalte/, Stand: 20.04.2021, Stromverbrauch der Haushalte in Deutschland nach Statistischem Bundesamt]

[11] Werner Harke, Smart Home – Vernetzung von Haustechnik und Kommunikationssystemen im Wohnungsbau, C. F. Müller Verlag, ISBN 3-7880-7713-1

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 10

Abbildung 2: 6, S. 145

*Abbildung 3*: 6, S. 167

Abbildung 4: 6, S. 167

Abbildung 5: 6, S. 148

*Abbildung 6*: 6, S. 148

Anhang

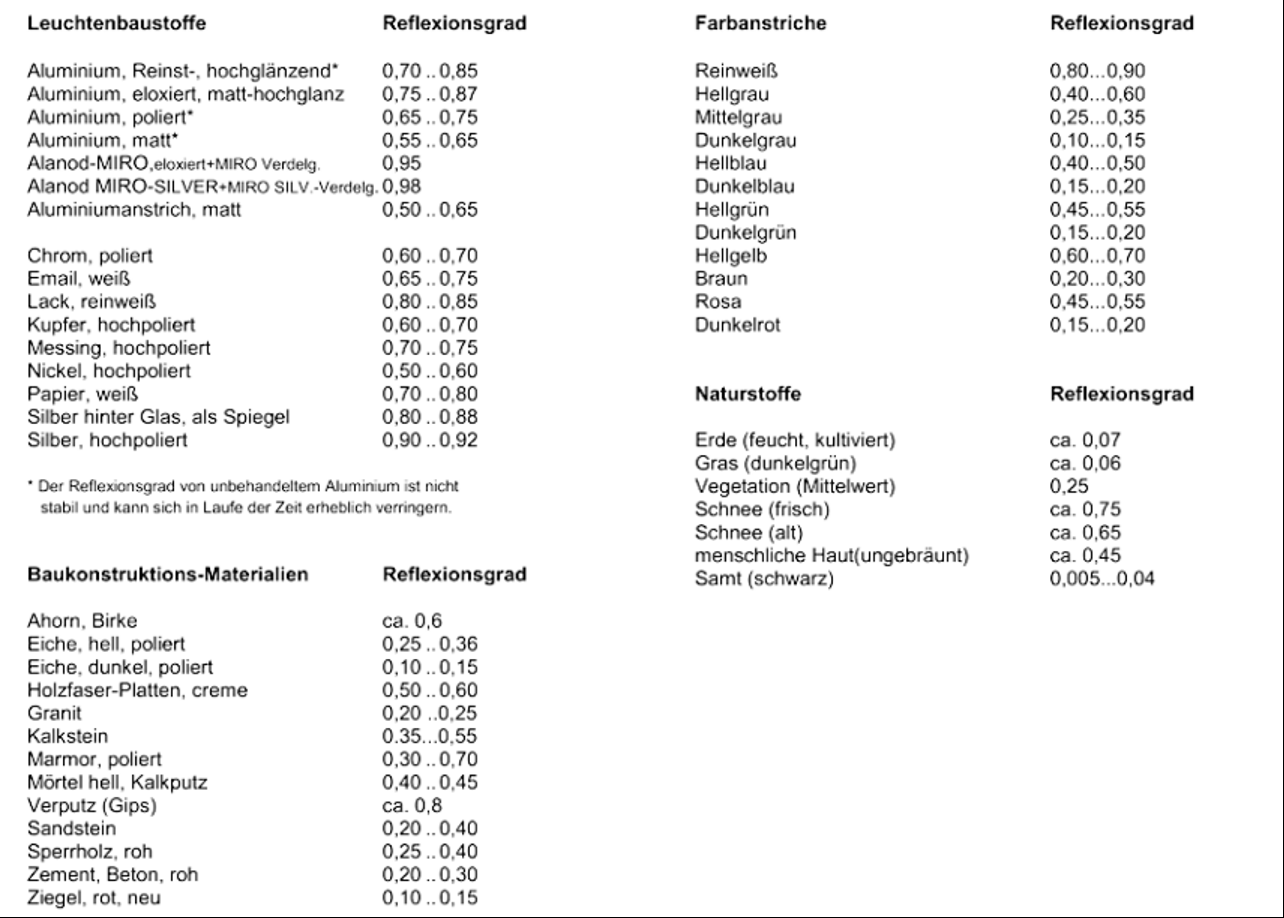


Abbildung 6: Reflexionsgrade verschiedener Materialien