Farbe erscheint nur, wo genug Licht vorhanden ist. Es muss mit farbigem Schlagschatten gerechnet werden (rotes Feuer rote Lichter) [8, S. 99]

**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.]

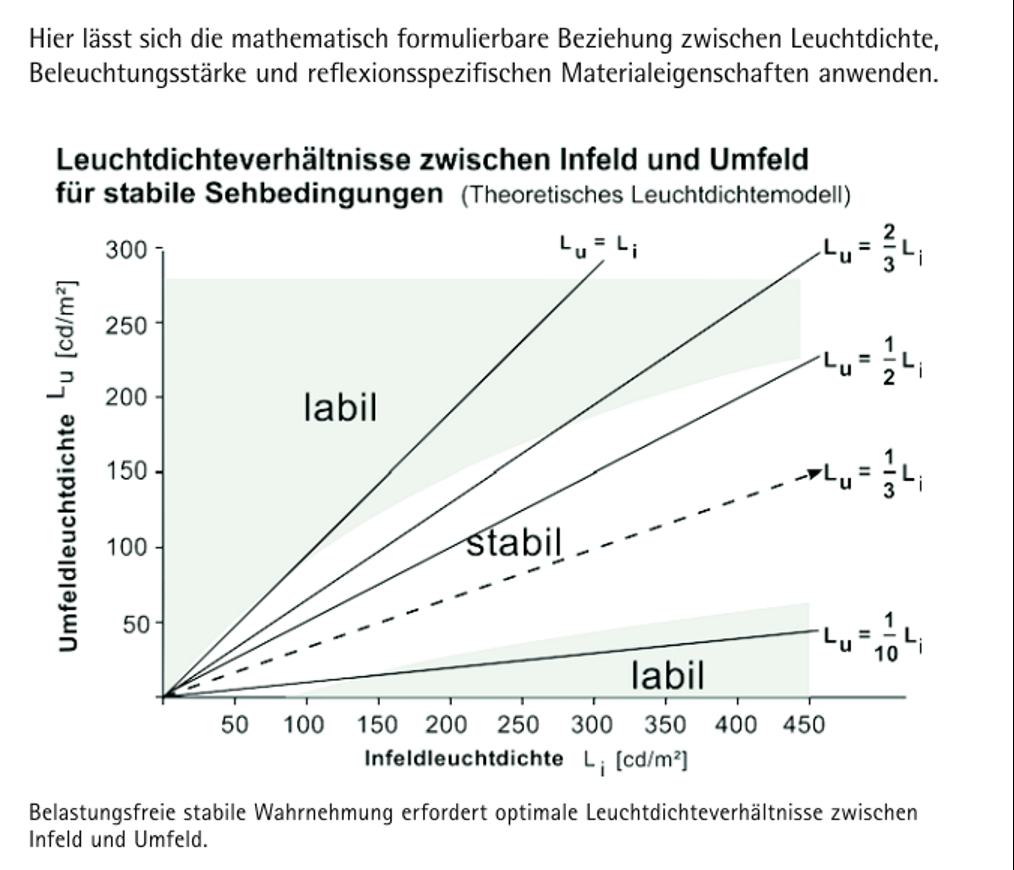


Abbildung 1: Verhältnis der Leuchtdichte zwischen Infeld und Umfeld

Abbildung 1 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]

**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 mit wesentlich höheren Beleuchtungsstärken angestrahlt werden, als eine helle Fläche mit Reflexionsgrad.

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Bedeutung von Energiekosten mit künstlichem Licht. Bei gleicher Beleuchtungsstärke wird ein wesentlich höherer Anteil des Lichtes wieder reflektiert und steht dem Raum zu Verfügung. Bei gleicher Leuchtdichte 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]

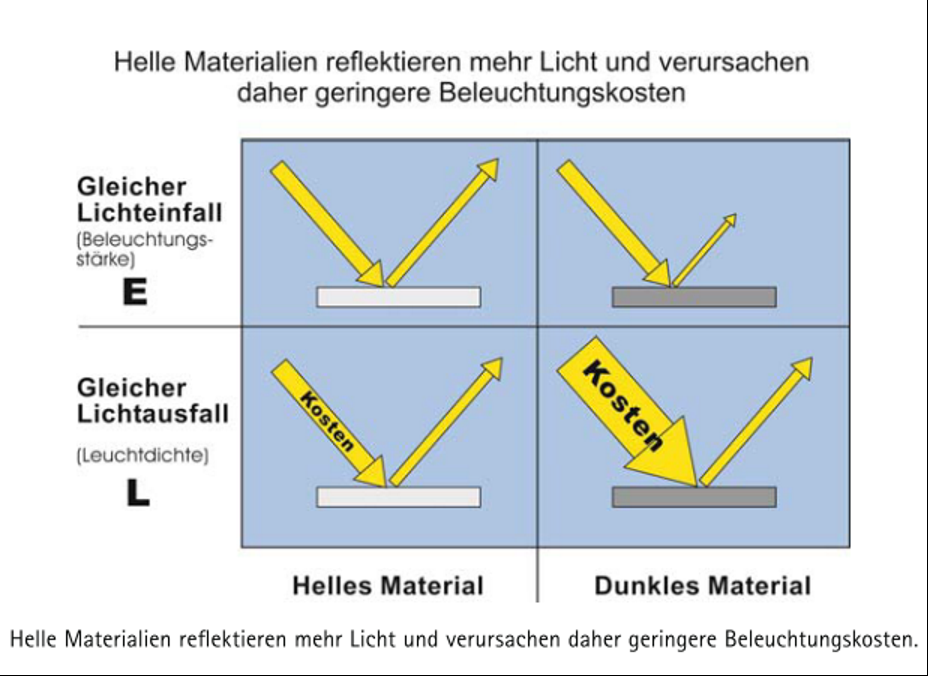


Abbildung 2: Vergleich von Lichteinfall, Material und resultierenden Kosten.

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 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 3: Dunkle Bestuhlung gibt wenig indirektes Licht ab



Abbildung 4: Helle Bestuhlung gibt viel indirektes Licht ab

Abbildung 2 zeigt die Bestuhlung im Raum mit schwarzen Stühlen. Der Raum wirkt düster. Bei gleichbleibender Bestrahlungsstärke wurden in Abbildung 3 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.

**Normen**

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

DIN 5035-1 und -2 Beleuchtung mit künstlichem Licht, zur Berechnung der Infeldleuchtdichten

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.]

**Bedeutung der Leuchtenauswahl**

Wohnen, Lernen und Arbeiten findet im Innenraum statt, der mit künstlichem Licht gestaltet ist. Dabei ist diese Art der Beleuchtung konstant und verändert sich nicht mit Tages- oder Jahreszeiten. Dabei ist die Zusammensetzung von künstlichem Licht nicht identisch mit der des natürlichen Lichtes. Die Farbwiedergabe weist einige Qualitätslücken auf. Tageslicht weist ein ausgewogenes, weißes Licht aus, das gleichmäßige Proportionen jedes Farbtonbereiches im Spektrum reflektiert. Es bildet das gesamte Spektrum der elektromagnetischen Strahlung zwischen 400 und 750 Nanometer [nm] ab. Je größer die Abweichung der Wellenlänge des Lichtes von diesem Bereich, desto stärker sinkt die spektrale Hellempfindlichkeit des visuellen Systems.[8. S. 37f.] Tageslicht hat auch keine gleich bleibende Eigenfarbe, sie ist von der Brechung und Reflexion der Erdatmosphäre abhängig. Sie ändert sich mit Tageszeit, geografischer Lage und Jahreszeit.

Wirkung von Sonnenlicht

Sonnenlicht hat eine tiefergehende Wirkung auf den menschlichen Organismus, es ist für die Entwicklung von Leben notwendig. Seine Menge, Qualität, Verteilung und Variation ist mit der Entwicklung der Menschen verbunden. Sichtbares, Ultraviolettes (UV) und Infrarotes (IF) Licht wirken durch Strahlung auf die Haut und durch den Lichteintritt in das Auge. Über die Augen wird visuelles Sehen ermöglicht und der circadiane Rhythmus gesteuert. Über die Haut werden durch die photochemische Einwirkung der UV-Strahlen Stoffwechsel angeregt oder reduziert. So erfährt der Organismus beispielsweise eine Reduzierung des Pulsschlages, abfallender Blutdruck oder eine Widerstandsfähigkeit gegenüber Infektionen. Dem Entgegen sorgt die Einwirkung von IF-Strahlen auf die Haut beispielsweise für Gefäßerweiterungen und beeinflusst damit die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit.

Schatten

Dem Sonnen- und künstlichen Licht steht der Schatten entgegen. Er ist ein wichtiges Gestaltungsphänomen in der Architektur, nur durch ihre Verschattung können Materialien plastisch zur Geltung kommen. Es entsteht eine Spannung zwischen Material und dem eigentlichen Baukörper. Um eine Fassade oder Materialoberfläche ästhetisch wirken zu lassen, muss die Himmelsrichtung berücksichtigt werden. Schatten hilft dem visuellen System Gegenstände zu definieren und im Raum zu lokalisieren. Die relative Größe und Richtung einer Lichtquelle bestimmt die Qualität des Schattens. Je diffuser ein Licht, desto unscharfer wird der Schatten. Je paralleler die Lichtstrahlen und je kleiner die Lichtquelle, desto schärfer wird der Schatten abgebildet. Der ideale scharfe Schatten wird durch die Sonne erzeugt. [8, S. 46ff.] Die Lichtrichtung kann ebenfalls durch den Einfall von Tageslicht durch Fenster erfolgen. Bei einem guten Verhältnis von diffusem Licht zum gerichteten Licht bewirkt eine angenehme Schattigkeit. Zur starke Schattenbildung kann durch künstliches Licht ausgeglichen werden. [8, S. 39]

Mit abnehmender Gesichtsfeldleuchtdichte wird das visuelle System empfindlicher für kurzwelliges als für langwelliges Licht. Das bedeutet, die Rezeptoren des Auges sind für blaues Licht empfänglicher als für rotes. [8, S. 37f.]

Gütemerkmale

Die Güte der künstlichen Beleuchtung wird durch folgende Punkte bestimmt:

* Beleuchtungsniveau – Helligkeit
* Blendungsbegrenzung – störungsfreies Sehen ohne Direkt- oder Reflexbildung
* Harmonische Helligkeitsverteilung – ausgewogenes Verhältnis der Leuchtdichten
* Lichtfarbe – Aussehen der Lampe, Farbwiedergabe, Lichtrichtung und Schattigkeit

Die genannten Gütemerkmale erhalten nach Anforderungen an den Raum unterschiedliche Gewichtung. Es sollen dabei die folgenden Bedingungen bevorzugt betrachtet werden:

* Sehleistung durch Beleuchtungsniveau und Belendungsbegrenzung
* Sehkomfort durch Farbwiedergabe und Helligkeitsverteilung
* Visuelle Ambiente durch Lichtfarbe, -richtung und Schattigkeit [8, S. 38]

Lichtfarbe

Durch Farben kann ein Mensch seine Umwelt erleben. Die objektive Abstimmung der Oberflächenhelligkeiten im In- und Umfeld ist das Raummilieu. Damit ist Wohlbefinden und Behaglichkeit als psychologische Komponente eines Raumes gemeint. Nicht jede Kombination aus Helligkeit, Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe wird als angenehm empfunden. Die Lichtfarbe einer Lampe wird mit der Farbtemperatur TF in der Maßeinheit Kelvin beschrieben. Mit dieser Skala ist ein absoluter Nullpunkt gegeben. Zur Referenz der Farbtemperatur einer Lichtquelle wird die Farbe mit der des sogenannten Schwarzen Strahlers verglichen. Der Schwarze Strahler ist ein idealisierter Körper, der alles Licht absorbiert. Seine Reflexionsstrahlung ist Null. Wenn der Schwarze Strahler erhitzt wird, durchläuft er die Farben Dunkelrot über Orange, Gelb bis zu Hellblau. Daraus abgeleitet wird festgestellt, je höher die Temperatur, desto weißer die Farbe.

Normlicht D65

Neutrales Licht ist ein Licht ohne Farbstich. Es gibt Farben unverfälscht wieder und wird daher für den Vergleich von Farbabweichungen weiterer Leuchtquellen herangezogen. Es ist die Normlichtart D65 (CIE), der von der Internationalen Beleuchtungskommission festgelegt wurde. Das Licht entspricht der Farbverteilung von Sonnenlicht bei Mittagszeit bei bedecktem Himmel. Dabei steht die Zahl 65 für 6.500 Kelvin [K]. Die Farbtemperatur wird in Grad Kelvin angegeben. Dabei ist 3.000°K eine warme, rötliche Lichtfarbe, 6.000°K eine kalte, tageslichtähnliche Lichtfarbe. Die CIE-Normfarbtafel stellt Farben von glühenden Lichtquellen in einer Kurve dar, von IF bis in den unendlichen blau-weißen Bereich. Weiß und annähernde Lichttemperaturen, wie die von weißen LEDs können über die X- und Y-Koordinaten der CIE-Normfarbtafel bestimmt werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick die Farbtemperatur ausgewählter Lichtquellen. [8, S. 37f., 9, S. 17, 6, S. 159ff.]

Glühlampen und Halogenglühlampenlicht wird mit seinem warmweißem Licht einer Farbtemperatur von etwa 2.800 bis 3.000K gleichgesetzt. Hierbei werden Beleuchtungsstärken von 50 bis 100 Lux als angenehm empfunden. Die Unbehaglichkeit setzt mit einer zu hohen Helligkeit ein. Mit einem niedrigeren Beleuchtungsniveau wirkt eine warmweiße Lichtquelle besser, im Vergleich zu einer tageslichtweißen Lichtquelle mit sehr hoher Farbtemperatur. Um als angenehm empfunden zu werden, müssen Leuchtstofflampen mit einer Farbtemperatur von 4.000 bis 5.000K und der Lichtfarbe hell- bis tageslichtweiß eine Beleuchtungsstärke von mindestens 300 bis 400 Lux aufweisen.

Tageslicht stellt mit sehr hohen Helligkeiten von 5.000 bis 10.000 Lux bei bedecktem Himmel, bis zu 100.000 Lux unbedecktem Himmel und einem weißen Licht zwischen 4.000 und 10.000K hohe Ansprüche an künstliche Lichtquellen. Die Norm teilt die Lichtfarben der Lampen in drei Gruppen ein: tageslichtweiß (tw), neutralweiß (nw) und warmweiß (ww).

Um eine dem Tageslicht nachempfundene Farbtemperatur in der Lichttechnik einzusetzen, kann in Mitteleuropa ein warmweißes Licht von 5.000K, morgens und abends bei 4.000K angesetzt werden. [6, S. 161] Abends soll die Beleuchtung im Wohnbereich so eingestellt sein, um Behaglichkeit zu vermitteln. [2, S. 231f., 6, S. 150]

Die Lichtfarbe bestimmt das Erlebnis im Raum, als warm, kalt oder neutral. Die Lichtfarbe wird durch das Spektrum der Lichtquelle, seine Farbtemperatur und seinen Farbort bestimmt. [6, S. 57]

Es ist nicht möglich, von der Lichtfarbe auf die Qualität der Farbwiedergabe zu schließen. Der menschliche Organismus ist bei hohen Farbtemperaturen an viel Licht gewöhnt und biologisch angepasst. [8, S. 40ff., 6, S. 160f.]

Farbwiedergabe

Licht und Farbe bestimmen bei der Raumplanung das Klima eines Raumes. Durch Wärme oder Kälte wird die Stimmung und das Wohlbefinden unterschiedlich empfunden. Für das Sehen ist eine korrekte Farbwahrnehmung bei künstlichem Licht unerlässlich. Dabei wird der Farbeindruck, wie bereits beschrieben, durch die Wechselwirkung zwischen Farbe der betrachteten Gegenstände über die spektrale Zusammensetzung des Lichtes bestimmt. Wenn einer Lichtquelle eine Spektralfarbe fehlt oder eine Farbe im Spektrum überbetont ist, erscheint der Gegenstand andersfarbig, kann jedoch noch immer natürlich wirken. Dies kann beim Betrachten von Hautfarbe unter Glühlampenlicht beobachtet werden.

Es soll an dieser Stelle zwischen Primär- und Sekundärlicht unterschieden werden. Primärlicht ist das Tages- und Kunstlicht. Das Material im Raum wird anders wahrgenommen als durch Sekundärlicht. Sekundärlicht ist das reflektierte Licht durch Reflexionen am Material und ist besonders bei Tageslicht unter der ständigen Veränderung des Primärlichtes in seiner optischen Szenerie beeinflusst. Beide Lichter schwanken in ihrer Farbtemperatur und –wiedergabe erheblich. Nur bei weißem Material haben beide die gleiche Farbtemperatur. Farbwiedergabeeigenschaften werden zur besseren Beschreibung der farblichen Wirkung von Lichtquellen angegeben. Hierfür wird allgemein der Farbwiedergabeindex Ra als skaliertes Maß der Übereinstimmung von Körperfarbe mit dem Aussehen unter der jeweiligen Lichtquelle verwendet. Die Skala wird in acht natürlich auftretende Testfarben mit einer Bezugsquelle und der zu prüfenden Lichtquelle eingeteilt. Die Bezugsquelle hat einen Ra von 100. Je größer oder kleiner die Abweichung der Farbwiedergabe ist, desto besser oder schlechter sind die Farbeigenschaften der jeweiligen Testlichtquelle. Die Bezugsquelle lässt alle Farben optimal erscheinen. [8, S. 43f., 6. S. 156]

Merkmale zur Beurteilung von Licht

Zur Beurteilung einer künstlichen Lichtquelle müssen die folgenden fünf Merkmale betrachtet werden:

* Richtung der Lichtquelle
* Intensität der einzelnen Lichtquellen
* Farbe des Lichtes
* Kontrast – Übergang von Licht zu Schatten, weich oder abrupt
* Härte – Aussehen der Schattenkanten

Die Richtung bestimmt die Breite des Schattens. Schatten bestimmt die Struktur und Gestalt eines Objektes im Raum. [9, S. 7] Bei direktem Licht erzeigt die Quelle einen starken Kontrast und harte Kanten. Ein Beispiel hierfür ist Sonnenlicht an einem klaren Tag. Gestreutes Licht wird über ein halbtransparentes Material erzeugt. Es entstehen Schatten mit geringerem Kontrast und weicheren Kanten. Die Stärke der Streuung bestimmt die der Schattenbildung, sodass sie kaum erkennbar sein können. Beispiele hierfür sind Sonnenlicht mit Bewölkung oder einem durchscheinenden Vorhang. Reflektiertes Licht wird von einer undurchsichtigen Oberfläche zurückgeworfen, bevor es auf das Objekt trifft. Beispiele hierfür sind Wolken oder eine Betonmauer. [9, S. 11ff.]

Kontraste sind die Übergänge von Licht zu Schatten. Bei direktem Sonnenlicht bilden sich oft zu starke Kontraste. [9, S. 21ff.]

Wahrnehmung

Jede Sinneserfahrung wird zunächst über das Gehirn erlebt, Wahrnehmung als geistigen Prozess, der durch die kognitive und psychologische Verfassung eines Menschen beeinflusst wird. [6, S. 56] Sehen bedeutet eine Individualisierung von Wahrnehmungsinhalten durch eine eigene Bewertung. [6, S. 56] Sehen hängt ebenfalls vom Reizkontext ab. Die Umgebung beeinflusst die visuelle und kognitive Interpretation des physikalischen Einzelreizes. Daher ist Wahrnehmung nicht nur eine optische Reizregistrierung, sondern auch ein geistig-schöpferischer Prozess. [6, S. 57]

Informationsverarbeitung

Die Informationsverarbeitung erfolgt durch die folgenden fünf Leistungen des Gehirns:

* Kapazitätsgrenzen
* Konstanzleistungen der visuellen Wahrnehmung
* Größenkonstanz
* Formkonstanz
* Farb- und Helligkeitskonstanz

Für die Kapazitätsgrenzen ist eine gute Beleuchtung essentiell. Schlechte Beleuchtung führt zu Blendung, Adaptionswechsel und einer falschen Leuchtdichteverteilung. Dem entgegen bewirkt eine gute Beleuchtung blendfreies Sehen, stabile und irritationsfreie Wahrnehmungsbedingungen. Zusammenfassend erleichtert und verbessert eine störungsfreie Beleuchtung den Informationsverarbeitungsprozess im Gehirn. [6, S. 57]

Die Arbeit des Gehirns um eine Konstanzleistung der Helleadaption bei Blendung zu gewährleisten nimmt überproportional zu. Das führt zu einer Erschöpfung der freien Kapazitäten im Gehirn und die mentale Belastung steigt an. Die Aufmerksamkeit an die primäre Sehaufgabe nimmt ab, potenziell vorhandene Informationen können nicht mehr wahrgenommen werden.

Die Aufgabe der Arbeitsplatzgestaltung besteht daher vorrangig aus der lichttechnischen Voraussetzung, die Aufmerksamkeit des Menschen möglichst ohne visuelle Hürden auf die Sehaufgabe zu lenken. [6, S. 58]

Die Konstanzleistungen des visuellen Wahrnehmens werden erfahrbar, wenn verschiedene Sehinhalte aus unterschiedlichen Entfernungen und Perspektiven betrachtet werden. Auch die Objektfarbe, -helligkeit und der Einsatz unterschiedlicher Lichtquellen sind Teil der Konstanzleistung des Gehirns. Der Mensch beobachtet am intensivsten durch seine Eigenbewegung und dem sich daraus ständig erneuernden Bezug zum Objekt oder dem Raum. Die Wahrnehmungsinhalte wechseln mit Milieu und Betrachter. [6, S. 59]

Die Farb- und Helligkeitskonstanz sind ein wichtiges Kriterium für die Wahl der Leuchten im Raum. Das Auge versucht stets physikalische Helligkeits- und Farbveränderungen von Materialoberflächen auszugleichen, damit eine bestimmte Farbe erhalten bleibt, auch wenn die Komponenten des Lichtes variieren. So ist es beispielsweise möglich, dass die Blätter einer Pflanze immer dasselbe Grün aufweisen, auch wenn im Raum partielle Leuchtdichteunterschiede auftreten. Auch beim Wechsel von Tageslicht zu künstlichem Licht kann zunächst eine differenzierte Wahrnehmung von Farben im Raum auftreten. [6, S. 62ff.]

LED

Durch den Einsatz von Light Emitting Diodes (LED) als Leuchtmittel kann eine gute biologische Wirkung bewirkt und eine dynamische Farblichtänderung dargestellt werden. Weiße LED haben einen höheren Phosphoranteil. Mit diesem Anteil steigt der Blauanteil des sichtbaren Lichtes. Je höher die Farbtemperatur ist, desto höher ist der Blauanteil. Durch die Kombination von beiden Lichtfarben und einer geeigneten Steuerung kann zwischen einer Lichtfarbe mit hoher und einer Lichtfarbe mit geringerer biologischen Wirkung gewechselt werden. Durch solche hochmoderne Beleuchtungssystem lässt sich die Gesundheit nachhaltig fördern. [8, S. 44ff.]

**Bedeutung von Farbempfinden**

Durch die Berücksichtigung der mittleren Helligkeit prägen sich Farbeindrücke im menschlichen Gehirn ein. 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.]

**Quellen Bilder:**

*Abbildung 1*: 6, S. 145

*Abbildung 2:* 6, S. 167

*Abbildung 3*: 6, S. 167

*Abbildung 4*: 6, S. 148

*Abbildung 5*: 6, S. 148

**Anhang:**

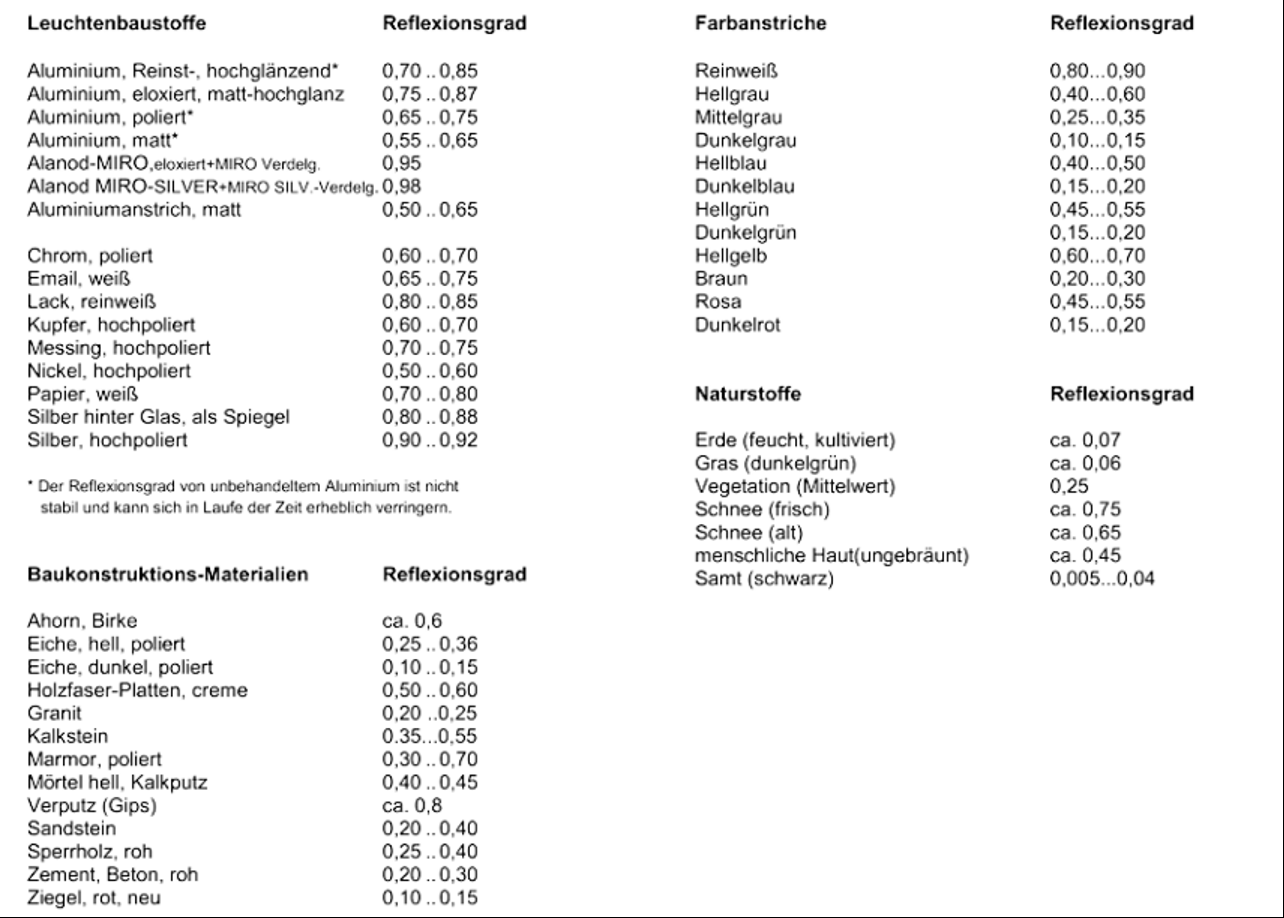


Abbildung 5: Reflexionsgrade verschiedener Materialien