



WHITEPAPER: DIE ROLLE DER BELEUCHTUNG IN DER ARCHITEKTONISCHEN GESTALTUNG

Von Erika Baffico

WHITEPAPER

modulyss®

WHITEPAPER

INDEX

BELEUCHTUNG ALS SCHLÜSSELFaktor IN ARCHITEKTUR UND RAUMGESTALTUNG	4
AUFKOMMEN DER ELEKTRIZITÄT UND VERLUST DER DUNKELHEIT	4
VERÄNDERLICHKEIT DES NATÜRLICHEN LICHTS IN RAUM UND ZEIT	5
ARCHITEKTUR ALS INTERPRETATION DER LOKALEN BESONDERHEITEN DES NATÜRLICHEN LICHTS	6
GRUNDLAGEN DES LICHTS UND CIRCADIANE RHYTHMIK	7
PHYSIK DES LICHTS	7
DAS MENSCHLICHE SEHEN	9
NICHT SICHTBARE AUSWIRKUNGEN VON LICHT UND CIRCADIANE RHYTHMIK: DESIGN MIT FOKUS AUF WOHLBEFINDEN	10
DER EINFLUSS VON MATERIALIEN AUF DIE LICHTREFLEXION UND ABSORPTION IN BEZUG AUF DIE MENSCHLICHE WAHRNEHMUNG	12
DIE PHYSIK DES REMITTIERTEN LICHTS	12
WAHRNEHMUNG UND SEHEN	14
WIE MAN MIT HILFE VON BELEUCHTUNG EINE NEUE RAUMWAHRNEHMUNG ERZEUGT	15
TECHNOLOGISCHE INNOVATION UND UMWELTAUSWIRKUNGEN VON BELEUCHTUNGSLÖSUNGEN	19
ENERGIEEFFIZIENTE BELEUCHTUNGSSTRATEGIEN UND NACHHALTIGKEIT	19
INTELLIGENTE BELEUCHTUNGSSYSTEME: IOT, KI-INTEGRATION UND FERNSTEUERUNG	20
ZERTIFIZIERUNGEN UND STANDARDS FÜR NACHHALTIGE BELEUCHTUNG	21
BEDÜRFNISSE ANTIZIPIEREN: RAUMBELEUCHTUNG AM PULS DER ZEIT	23
ABSTIMMUNG VON BELEUCHTUNG UND MATERIALIEN	23
LICHT UND SEINE WIRKUNG AUF DEN FUSSBODEN	24
AKTUELLE TRENDS IN DER ARCHITEKTUR- UND RAUMBELEUCHTUNG	25
ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT DES BELEUCHTUNGSDISIGNS	26
EMPFOHLENE LITERATUR	27
QUELLENVERZEICHNIS	27

Wir dürfen uns vom Konzept der Oberfläche als ein solides Mittel zur Abgrenzung und Versiegelung eines Raums lösen und Flächen stattdessen als Quellen des Lichts begreifen, als lichtgebende Instrumente, die den Raum ausdehnen, ihn öffnen, die nicht seiner Definition dienen, sondern dem Blick erlauben, sich über die Grenzen und Begrenzungen des Raums hinwegzubewegen.

Licht, farbige Lichter, haben keine Festigkeit; sie besitzen eine flüchtige, ungewisse, bewegliche und nicht greifbare Präsenz. Die Gestaltung uneindeutiger, sich verändernder Räume – psychologisch und kulturell durchlässig – spricht möglicherweise neue existenzielle Bedürfnisse an.

— Ettore Sottsass in Abet Laminati e Ettore Sottsass, 40 anni di lavoro insieme, Palazzo della Triennale di Milano (2005)

Was mich interessiert, ist die Möglichkeit, mit Licht Räume zu gestalten, mehr noch als mit jedem anderen Material. Ich bin fasziniert davon, wie der Raum Form annimmt, je nachdem, wo das Licht hinfällt, und wie diese Formwerdung mit uns in Beziehung steht.

— James Turrell

BELEUCHTUNG ALS SCHLÜSSELFAKTOR IN ARCHITEKTUR UND RAUMGESTALTUNG

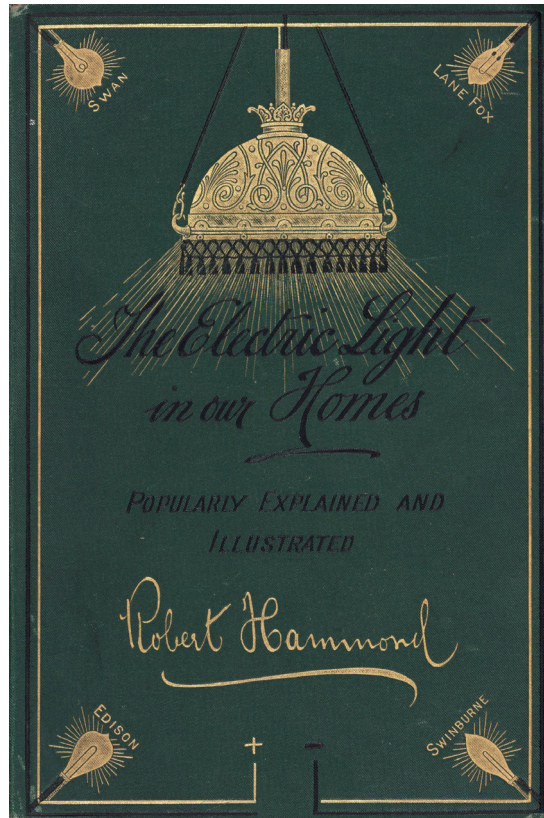
AUFKOMMEN DER ELEKTRIZITÄT UND VERLUST DER DUNKELHEIT

Jahrhundertlang gestalteten die Menschen ihr Leben nach dem Rhythmus der Sonne: Aufgaben wurden bei Tageslicht erledigt, da in der Nacht lediglich der Mond, Feuerstellen und später Kerzen als Lichtquellen zur Verfügung standen. Die Einführung der elektrischen Glühbirne im späten 19. Jahrhundert setzte einen revolutionären Wandel in Gang, denn sie ermöglichte konzentriertes und detailgenaues Arbeiten fortan auch bei Nacht und an abgelegenen Orten. Infolge der industriellen Revolution stieg die Bevölkerungsdichte in den Städten immer weiter an. Bei der Anpassung an diese neue Lebensweise erwies sich das künstliche Licht als unverzichtbar.

In nicht viel mehr als einem Jahrhundert hat sich die Menschheit vollständig von den mit natürlichen Lichtquellen einhergehenden Einschränkungen befreit. Die Verbesserung der Energieeffizienz von Lichtquellen hat es zunehmend möglich gemacht, natürliches Licht in der Innenarchitektur durch künstliche Beleuchtung zu ersetzen. Die traditionellen Schlaf-Wach-Zyklen wurden durchbrochen, die künstliche Zeit ist an die Stelle der natürlichen Zeit getreten, und es sind neue Nutzungsmöglichkeiten für Räume sowie neue architektonische Möglichkeiten entstanden. In professionellen Einrichtungen, z. B. im Gesundheitswesen, ist ein Rund-um-die-Uhr-Betrieb möglich geworden. Ebenso hat das künstliche Licht den Menschen in die Lage versetzt, in ehemals unzugängliches Territorium vorzudringen, sei es unter der Erde, unter Wasser oder gar im Weltraum.

Der moderne Mensch verbringt durchschnittlich 90 Prozent seiner Zeit in Innenräumen und ist dabei erheblichen Mengen an künstlichem Licht ausgesetzt. Die menschliche Anpassungsfähigkeit an epochale Veränderungen, die sich innerhalb kurzer Zeit durchsetzen, ist jedoch begrenzt – und das zeigt sich auch hier. Wissenschaftliche Studien haben ergeben, dass sich längere Aufenthalte in Umgebungen mit unzureichendem natürlichem Licht äußerst negativ auf das geistige und körperliche Wohlbefinden auswirken. Ein Mangel an natürlichem Licht kann Schlafstörungen, Angstzustände, psychische Probleme, Depressionen, Kopfschmerzen, Müdigkeit und soziale Isolation zur Folge haben. Stressbedingte Probleme, die durch langes Verweilen in geschlossenen Räumen verursacht werden, sind global weit verbreitet, besonders in dicht besiedelten städtischen Gebieten.

Eine hochwertige Raumlichtgestaltung zur Schaffung von Umgebungen, die Wohlbefinden und Komfort fördern, ist daher unerlässlich.

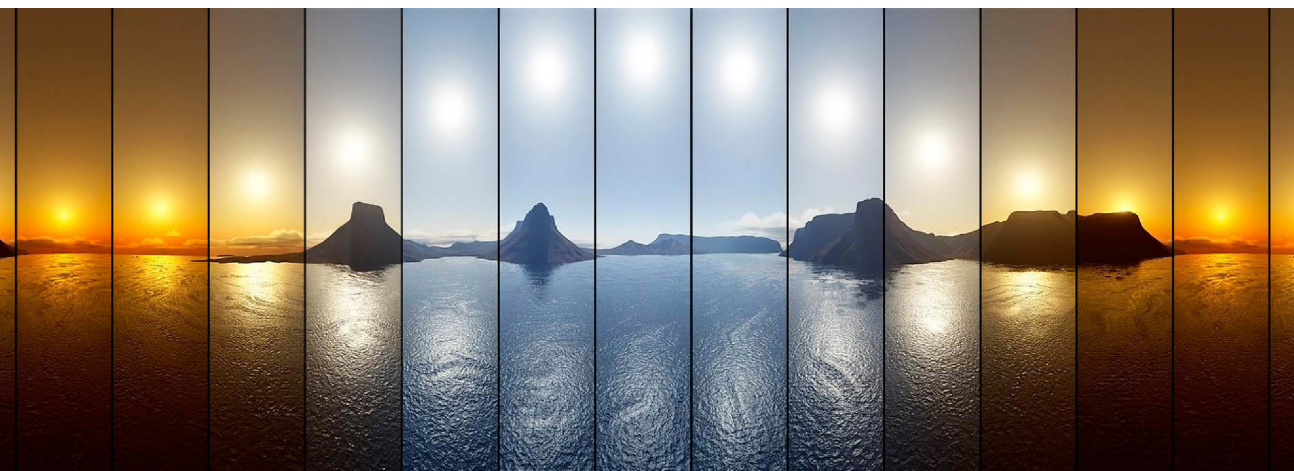
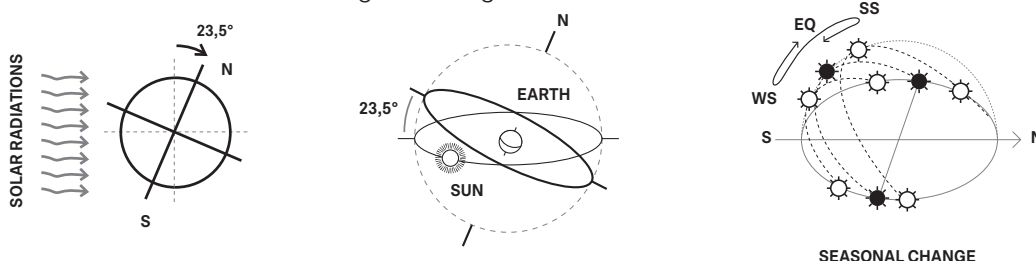


VERÄNDERLICHKEIT DES NATÜRLICHEN LICHTS IN RAUM UND ZEIT

Die Faszination des natürlichen Lichts liegt in dessen stetigem Wandel: Seine Intensität und Farbe verändern sich im Verlauf des Tages, von der Morgendämmerung bis zur Abenddämmerung, von Tag zu Tag, von Jahreszeit zu Jahreszeit und von einem Ort zum anderen. Wissenschaftlich betrachtet ist natürliches Licht der sichtbare Teil des von der Sonne ausgestrahlten elektromagnetischen Spektrums, das auf die Erde gelangt. Seine bemerkenswerte Veränderlichkeit in Zusammensetzung und Intensität ist durch die folgenden Variablen bedingt:

- **Tag:** Ein Tag ist definiert als die Zeit, in der sich die Erde – mit der Sonne als Bezugspunkt – einmal um ihre eigene Achse dreht (24 Stunden).
- **Jahreszeiten:** Die Jahreszeiten werden durch die Neigung der Erdachse um bis zu 23 Grad und 27 Minuten in Bezug auf die Ekliptiknormale (Ekliptik = Ebene, auf der der Planet seine Bahnen zieht) beeinflusst. Aufgrund dieser Neigung erhält die nördliche Halbkugel zur Sommersonnenwende (21. Juni) ein Maximum an Sonneneinstrahlung und zur Wintersonnenwende (21. Dezember) ein Minimum an Strahlung. Auf der Südhalbkugel verhält es sich genau umgekehrt: Dort herrscht Winter, wenn auf der Nordhalbkugel Sommer ist, und es wird Frühling, während im Norden der Herbst kommt. Die Tagundnachtgleichen (20. März und 22. September) stellen Übergangszustände dar, in denen das Sonnenlicht senkrecht auf die Erde trifft.
- **Breitengrad:** Bewegt man sich vom Äquator zu den Polen, ändern sich die Gegebenheiten der Sonneneinstrahlung. In Äquatornähe bleiben die Bedingungen das ganze Jahr über relativ konstant. An den Polen hingegen sind die Unterschiede extrem; im Winter herrscht ewige Nacht, im Sommer geht die Sonne niemals unter.
- **Deklination:** Die Sonne geht im Osten auf und im Westen unter, wobei sie auf der Nordhalbkugel tagsüber im Süden und auf der Südhalbkugel im Norden steht. Die Deklination der Sonne bestimmt die Höhe der Sonne auf dieser Bahn. Sie ändert sich mit den Jahreszeiten – im Winter ist der Sonnenstand niedriger, im Sommer höher.
- **Atmosphäre:** Die Atmosphäre beeinflusst das zur Erde durchdringende Sonnenlicht, es verändert dessen spektrale Verteilung und Farbe. Maßgeblich sind dabei die Zusammensetzung der Atmosphäre, z. B. das Vorhandensein von Wolken, Nebel oder Schnee, und lokale Parameter wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck.

Im Allgemeinen reicht die Intensität des natürlichen Lichts von 0,25 Lux bei Mondlicht über 10.000 Lux an einem bewölkten Tag bis hin zu maximal 100.000 Lux an einem Sommertag bei direkter Sonneneinstrahlung am Mittag.



ARCHITEKTUR ALS INTERPRETATION DER LOKALEN BESONDERHEITEN DES NATÜRLICHEN LICHTS

Licht ist ein einzigartiges Gestaltungselement, mit dem sich grandiose Effekte erzielen lassen, zugleich ist es auch eine objektiv messbare und kontrollierbare Ressource, wie jedes andere Material in der Architektur auch

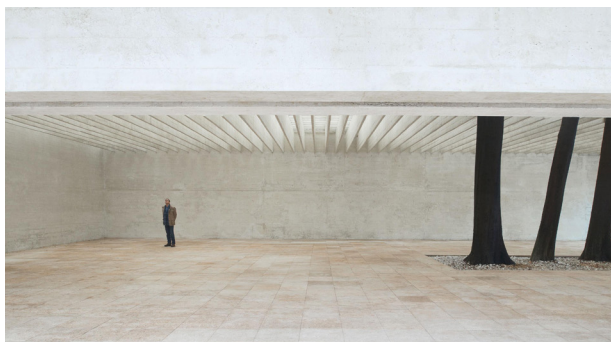
Im Laufe der Geschichte hat die traditionelle Architektur stets nach Mitteln und Wegen gesucht, Gebäude so zu konzipieren, dass die direkte Sonneneinstrahlung im Winter maximiert und im Sommer abgeschirmt werden kann. Unter Anwendung dieses Prinzips der bioklimatischen Optimierung entwickelte die Architektur auf die jeweilige geografische Region zugeschnittene charakteristische Merkmale. Ein anschauliches Beispiel ist die Größe der Fenster in Gebäuden: Je höher der Breitengrad, desto größer die Fenster. Das natürliche Licht bestimmt also nicht nur die geografische Identität eines Ortes, sondern auch seine kulturelle Essenz.

Hierzu drei Paradebeispiele aus der europäischen Architektur — stellvertretend für unterschiedliche Kontexte — die die spezifischen Eigenschaften des natürlichen Lichts meisterhaft interpretieren



Im mediterranen Kontext nutzte **Carlo Scarpa** bei der Gestaltung des Erweiterungsbaus der Gipsoteca di Canova in Possagno dynamisches Licht und starke Kontraste, um dramatische Kulissen für die dort ausgestellten Kunstwerke zu schaffen

Ein Beispiel aus Nordeuropa ist die von **Alvar Aalto** gestaltete Bibliothek von Viipuri. Hier schafft weiches, gleichmäßiges und diffuses Licht eine klare, ruhige Atmosphäre.



Und als drittes Beispiel das kühne Designprojekt, in dem es **Sverre Fehn** 1958 auf der Biennale von Venedig gelang, mit seinem Nordischen Pavillon die besondere Qualität des nordischen Lichts in mediterraner Umgebung zu reproduzieren.

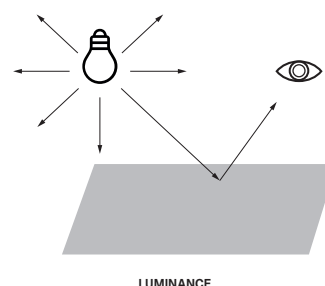
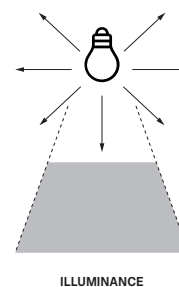
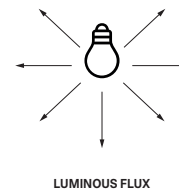
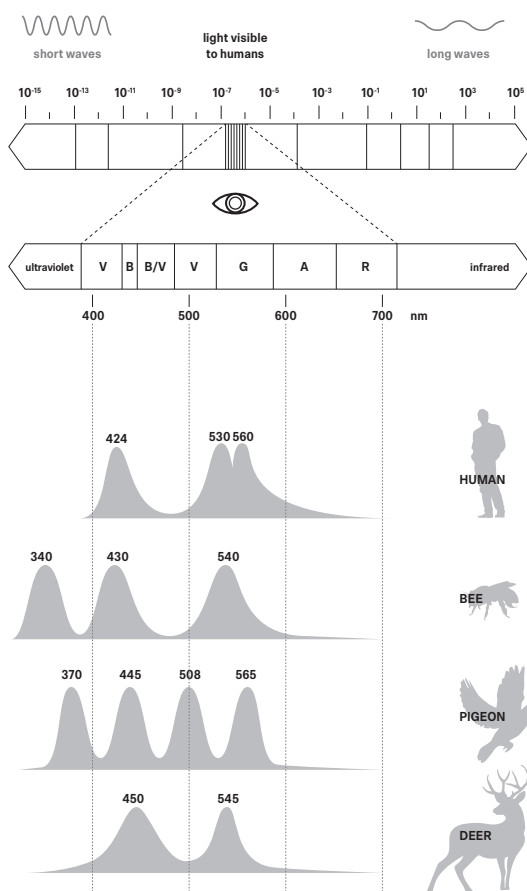
Diese Beispiele zeigen, wie die wohldurchdachte Interpretation des natürlichen Lichts zu einem prägenden Merkmal der architektonischen Identität werden kann, verwurzelt im jeweiligen Umgebungs- und Kulturkontext.

GRUNDLAGEN DES LICHTS UND CIRCADIANE RHYTHMIK

PHYSIK DES LICHTS

Licht ist der für das menschliche Auge sichtbare Bereich der elektromagnetischen Strahlung mit Wellenlängen zwischen 380 Nanometern (kurzwellig) und 760 Nanometern (langwellig). Jede Wellenlänge entspricht einer bestimmten Farbe im elektromagnetischen Spektrum: Bei etwa 380 nm befindet sich Violett, gefolgt von Blau, Grün, Gelb bei etwa 550 nm, Orange und schließlich Rot bei 700 nm. Die Kombination all dieser Wellenlängen führt zu einer additiven Synthese, durch die das Licht als weiß wahrgenommen wird.

Die sichtbare Strahlung stellt nur einen kleinen Teil des von der Sonne emittierten elektromagnetischen Spektrums dar. Andere Lebewesen können für den Menschen unsichtbare Wellenlängen wahrnehmen, z. B. Ultraviolett- und Infrarotstrahlung. Bienen zum Beispiel sehen alle Farben außer Rot, wobei die höchste Empfindlichkeit im Bereich der blauen und ultravioletten Frequenzen liegt. Tauben können Millionen von Farbschattierungen unterscheiden, da sie eine höhere Anzahl von Fotorezeptoren (Zapfen) in ihrer Netzhaut haben. Rehe und Hirsche wiederum können, ebenso wie viele andere Pflanzenfresser, kein Rot wahrnehmen. Ihr Sehvermögen ist am stärksten im blauen und gelben Frequenzbereich ausgeprägt, sodass ihnen ihre Umwelt in einer Vielzahl von Grün- und Grautönen erscheint.



Nicht alles weiße Licht wird gleich wahrgenommen, da seine Zusammensetzung auch seinen Farbton beeinflusst. **Die Farbtemperatur**, gemessen in Kelvin (K), stellt die Temperatur eines idealen thermischen Strahlers dar, wenn dieser eine bestimmte Strahlung und damit eine bestimmte Farbe aussendet:

- **Warmweißes Licht:** unter 3.300 K
- **Neutralweißes Licht:** zwischen 3.300 K und 5.300 K
- **Kaltweißes Licht:** über 5.300 K

Beispiele:

- Kerzenlicht: ca. 1.000 K
- Mittagssonne: ca. 4.900 K
- Bedeckter Himmel: ca. 7.000 K

Die Farbwiedergabe einer Lichtquelle bezieht sich auf deren Fähigkeit, Farben von Gegenständen möglichst so wiederzugeben, wie sie bei Tageslicht erscheinen. Sie wird durch den sog. Farbwiedergabeindex Ra (engl.: CRI) dargestellt, der von 50 bis 100 reicht:

- Ausgezeichnet: Ra über 90
- Gut: Ra zwischen 80 und 90
- Mäßig: Ra zwischen 60 und 80
- Schlecht: Ra unter 60

Der Lichtstrom ist die Gesamtmenge an Lichtenergie, die von einer Lichtquelle pro Zeiteinheit abgestrahlt wird; er wird in Lumen (lm) gemessen.

Die Beleuchtungsstärke beschreibt den Lichtstrom, der auf eine Fläche trifft. Sie nimmt proportional zum Quadrat der Entfernung ab und wird in Lux (lx) gemessen.

Die Leuchtdichte ist ein Maß für das von einer Fläche reflektierte Licht; sie ist abhängig von der Farbe und Beschaffenheit dieser Fläche. Die Raumausleuchtung kann über das reflektierte Licht gesteuert werden, indem helle Oberflächen (mehr Reflexion) oder dunkle Oberflächen (weniger Reflexion) verwendet werden. Die Leuchtdichte wird in Candela (cd) pro Quadratmeter gemessen, sie stellt also das Verhältnis zwischen der Lichtstärke in einer bestimmten Abstrahlrichtung und der Größe der emittierenden Oberfläche dar.

Beispiele:

- Direktes Sonnenlicht: ca. 32.000 – 100.000 lx
- Bürobeleuchtung gemäß DIN EN 12464: 500 lx
- Vollmondreflexion: ca. 1 lx

Anwendungen:

- Aufgaben mit Präzisionsanspruch (z. B. Zeichnen, Qualitätskontrolle): 500 – 1.000 Lux
- Allgemeine Aufgaben (z. B. Lesen, Bildschirmarbeit): 300 – 500 Lux
- Allgemeine Aktivitäten (z. B. Orientierung, Bewegung im Raum): weniger als 100 Lux

DAS MENSCHLICHE SEHEN

In der Netzhaut des Auges befinden sich über eine Million lichtempfindlicher Nervenzellen, die sogenannten Fotorezeptoren, die Lichtsignale in bioelektrische Signale umwandeln. Diese Signale werden über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet, wo sie zu visuellen Eindrücken verarbeitet werden.

Es gibt drei Arten von Fotorezeptoren: Zapfen, Stäbchen und Ganglienzellen.

Die Zapfen sind für das Sehen bei Tageslicht (photopisches Sehen) zuständig. Sie sind sehr farbpfeindlich, reagieren jedoch weniger auf schwache Lichtintensitäten und befinden sich hauptsächlich im zentralen Bereich der Netzhaut. Es gibt drei Arten von Zapfen, deren Absorptionsmaxima bei unterschiedlichen Wellenlängen liegen: 600 nm (Rot), 550 nm (Grün) und 350 nm (Blau). Die Wahrnehmung von farblosem Licht entsteht durch die ausgewogene Stimulation aller drei Zapfenarten. Zu einem Farbeindruck kommt es, wenn eine oder mehr Zapfenarten stimuliert werden.

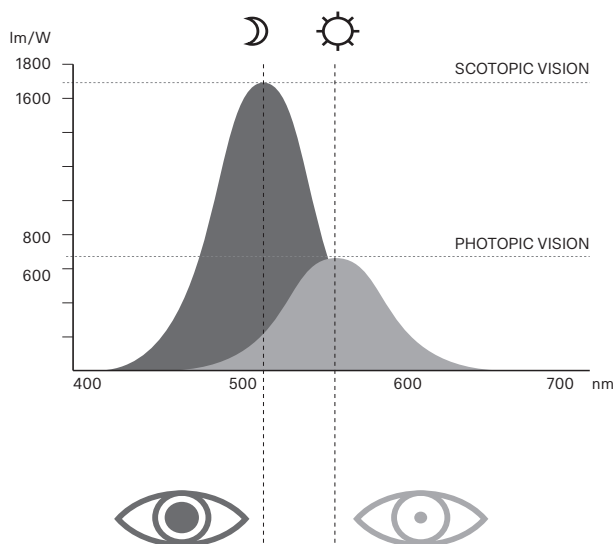
Beispiele:

- Zapfen für Blau und Grün: Wahrnehmung von Cyan
- Zapfen für Grün und Rot: Wahrnehmung von Gelb
- Zapfen für Blau und Rot: Wahrnehmung von Magenta
- Zapfen für Blau, Grün und Rot: Wahrnehmung von Weiß

Die Stäbchen ermöglichen das nächtliche oder skotopische Sehen. Sie besitzen eine extrem hohe Lichtempfindlichkeit, durch die sie sogar auf schwache Lichtreize unter 1 Lux reagieren, und befinden sich hauptsächlich an den äußeren Rändern der Netzhaut. Stäbchen sind in der Lage, Veränderungen in der Beleuchtungsstärke und Bewegungen zu erkennen, tun dies jedoch achromatisch.

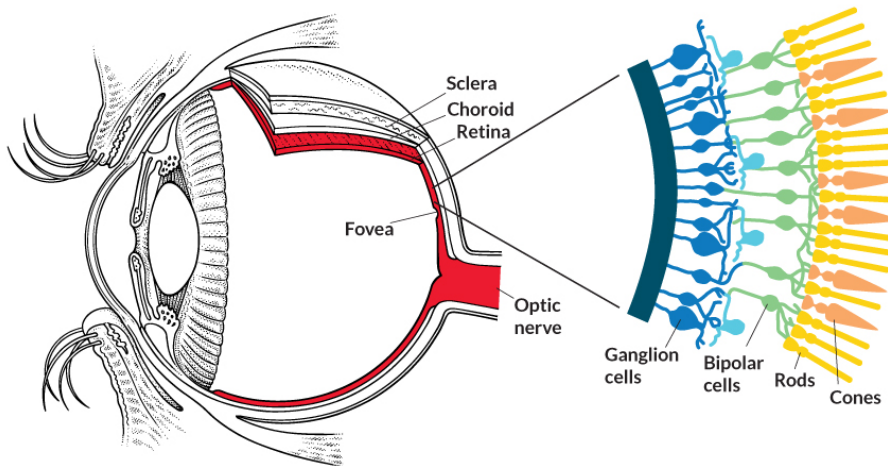
Stäbchen sprechen am stärksten auf Wellenlängen an, die kürzer sind als jene, auf die die Zapfen reagieren. Ihre Lichtempfindlichkeit wird durch die Oberflächenfarbe beeinflusst: Von zwei gleich stark beleuchteten Oberflächen erscheint jene, deren Farbe sich näher an einer Wellenlänge von 550 nm befindet, heller. Dies ist der Grund dafür, dass beim Übergang vom Tag zur Nacht rote Objekte wie Äpfel oder Mohnblumen in unserer Wahrnehmung als Erstes dunkler werden, während grünes Gras länger sichtbar bleibt.

Das menschliche Wahrnehmungssystem ist äußerst anpassungsfähig. Das Auge passt sich sowohl durch die mechanische Regulierung der Pupille als auch durch Aktivierung der Fotorezeptoren an unterschiedliche Lichtverhältnisse an. Wenn man zum Beispiel mit dem Auto in einen Tunnel fährt, braucht das Auge einige Sekunden, um sich auf die Dunkelheit einzustellen. Genauso ist es beim Verlassen des Tunnels, wenn man von der Dunkelheit ins helle Sonnenlicht kommt. Bei einem Wechsel von niedriger zu hoher Lichtintensität geschieht die Anpassung schneller, da die mechanische Regulierung der Pupille rascher erfolgt als die Reaktion der Fotorezeptoren, wenngleich beide sehr effektiv sind.



NICHT SICHTBARE AUSWIRKUNGEN VON LICHT UND CIRCADIANE RHYTHMIK: DESIGN MIT FOKUS AUF WOHLBEFINDEN

Die dritte Gruppe der Fotorezeptoren wird von retinalen Ganglienzellen gebildet, die auch als **(intrinsisch) photosensitive retinale Ganglienzellen (Kürzel: ipRGC)** bekannt sind. Diese Zellen sind nicht an der Bildentstehung beteiligt, sondern für die Synchronisierung der **circadianen Rhythmik** (von lateinisch circa diem, was „ungefähr einen Tag lang“ bedeutet) zuständig. Sie übertragen externe Lichtsignale an den **Nucleus suprachiasmaticus (SCN)**, der durch Ausschüttung von Hormonen, unter anderem Melatonin, einen körpereigenen Prozess namens „Entrainment“ reguliert. Bei Dunkelheit kommt es im Blut zu einem natürlichen Anstieg des Melatoninspiegels, durch Lichteinwirkung hingegen wird die Ausschüttung von Melatonin gehemmt. **Kurzwelliges Licht** (also blaues Licht in einem Wellenlängenbereich zwischen 460 und 480 nm) hat die stärkste Wirkung auf die Ganglienzellen und führt zu einer Unterdrückung der Melatoninproduktion. Dies ist der Grund, weshalb von der Nutzung von Bildschirmen vor dem Schlafengehen dringend abgeraten wird.

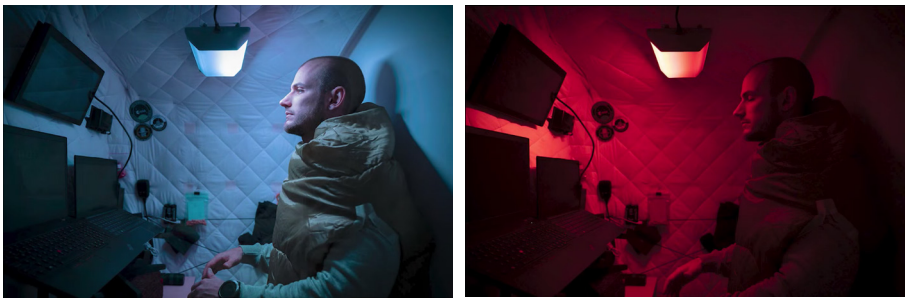


Die Ganglienzellen regulieren eine Vielzahl der elementaren Funktionen des Organismus, unter anderem den Schlaf-Wach-Rhythmus, die Körpertemperatur, den Puls, die Verdauung, die Aufmerksamkeit, die Stimmung und die Leistungsfähigkeit. Bemerkenswerterweise bleiben diese Zellen auch bei sehbehinderten Personen funktionsfähig.

Das Leben auf der Erde wird seit jeher durch den natürlichen Lichtzyklus bestimmt, und fast alle Organismen weisen biologische Rhythmen auf, die mit der Rotationsperiode der Erde von etwa 24 Stunden übereinstimmen. Die Nutzung von künstlichem Licht ist dabei in evolutionsgeschichtlicher Hinsicht ein relativ neues Phänomen. Licht ermöglicht nicht nur das Sehen, sondern hat auch erhebliche **nicht sichtbare Auswirkungen** auf das geistige und körperliche Wohlbefinden.

Diese Erkenntnis hat zur Entwicklung von Konzepten wie **Human-Centric Lighting**, **Circadian Effectiveness (circadianer Wirkungsfaktor acv)**, **melanopischer Wirksamkeit (EML)** und **biodynamischem Licht** geführt. Das Ziel besteht darin, künstliche Beleuchtung zu entwerfen, die nicht nur die Sichtbarkeit der Umgebung erhöht, sondern darüber hinaus auch die Eigenschaften von natürlichem Licht reproduziert und somit die Lebensqualität verbessert (Human-Centric Lighting). Dieser Ansatz fördert das menschliche Wohlbefinden und trägt zu besseren Beziehungen, erhöhter Produktivität und mehr persönlicher Zufriedenheit bei.

Ein bahnbrechendes Projekt in diesem Bereich ist das Circadian Light Project von Saga Space Architects, bei dem ein Beleuchtungssystem für Astronauten im Weltraum entwickelt wurde, das natürliche Lichtveränderungen – auch wetterbedingte – simuliert. Dieses wurde 2023 auf der **Internationalen Raumstation ISS** installiert.



Eine weitere bemerkenswerte Innovation ist das **CoeLux-System**, ein hochtechnologisches Beleuchtungsprodukt, das direktes Sonnenlicht mittels einer ausgeklügelten optischen Konfiguration überzeugend nachahmt.

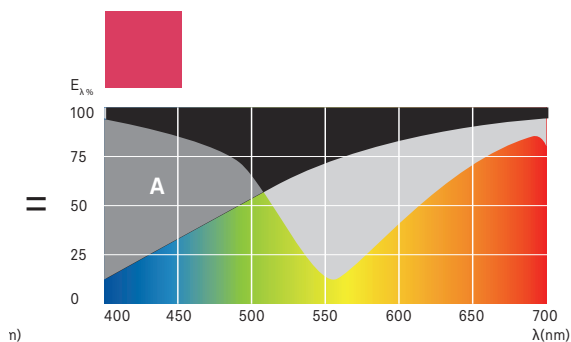
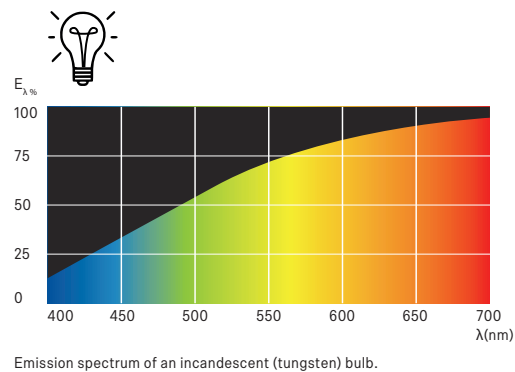
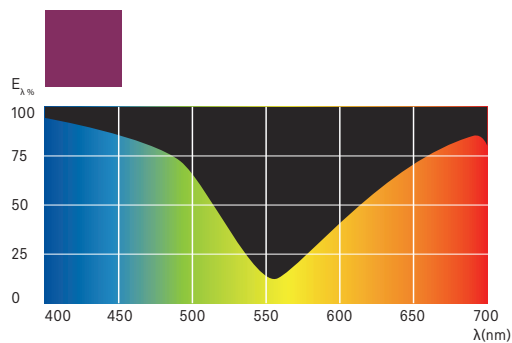


DER EINFLUSS VON MATERIALIEN AUF DIE LICHTREFLEXION UND -ABSORPTION IN BEZUG AUF DIE MENSCHLICHE WAHRNEHMUNG

DIE PHYSIK DES REMITTIERTEN LICHTS

Das Wahrnehmungsparadoxon des Lichts besteht darin, dass es mit Materie interagieren muss, damit man es sieht. Aufgrund seiner komplexen Zusammensetzung verändert das Licht auch die Art und Weise, wie wir die Elemente, mit denen es interagiert, wahrnehmen

Wenn Licht auf ein Objekt trifft, wird ein Teil seiner Energie absorbiert, während ein anderer Teil remittiert wird, abhängig von den Eigenschaften der Oberfläche und ihrem Remissionsspektrum.



WHITEPAPER

modulys®

WHITEPAPER

Grundsätzlich gilt: **Weiß**e Oberflächen remittieren das gesamte auftreffende Licht, **schwarze** absorbieren es vollständig und **graue** Oberflächen absorbieren einen Teil. In der Realität ist es jedoch so, dass selbst weiße Oberflächen, wie z. B. Papier, einen Teil des Lichts aufnehmen. Jede Farbe weist ein spezifisches Remissionsspektrum auf, das bestimmt, wie wir diese Farbe wahrnehmen. Unter weißem Licht gestaltet sich dieser Prozess noch relativ simpel und intuitiv. Hat die Lichtquelle jedoch ein abweichendes Emissionsspektrum, wird auch das Objekt anders wahrgenommen.

Dieses Phänomen zeigt sich zum Beispiel bei Lebensmitteln in Supermärkten mit modernen Beleuchtungssystemen. Dort wird das Fleisch in der Auslage häufig mit bestimmten Wellenlängen beleuchtet, die Rottöne besonders hervorheben. Zu Hause in der Küche, wo die Beleuchtung in der Regel mit kühlerem Licht erfolgt, sehen die Produkte anders aus. Hält man sie ins Sonnenlicht, nähert man sich wieder etwas mehr an den ursprünglichen Farbeindruck an, da natürliches Licht das umfassendste Spektrum bietet

Der wissenschaftliche Hintergrund hierfür ist, dass **jede Farbe ein einzigartiges absolutes Remissionsspektrum aufweist**. In Kombination mit dem spezifischen Emissionsspektrum der Lichtquelle ergibt sich ein **relatives Remissionsspektrum**. Das abgebildete Diagramm stellt einen Fall dar, in dem eine Farbe die mit „A“ gekennzeichnete Energiekomponente nicht remittieren kann, da diese Komponente im Emissionsspektrum der spezifischen Lichtquelle nicht vorhanden ist. Infolgedessen ändert sich die wahrgenommene Farbe.

Umgekehrt können **zwei verschiedene Farben unter bestimmten Beleuchtungsbedingungen identisch erscheinen**, obwohl sie sich in ihrer spektralen Zusammensetzung unterscheiden. Dieses Phänomen wird als Metamerie bezeichnet. Es tritt auf, wenn die Schwerpunkte der absoluten Remissionsspektren der jeweiligen Farben auf einer gemeinsamen dominanten Wellenlänge liegen, wodurch ähnliche visuelle Eindrücke entstehen. Diese Farben, die unter einer bestimmten Art von Licht identisch erscheinen, können unter einer anderen völlig anders aussehen.

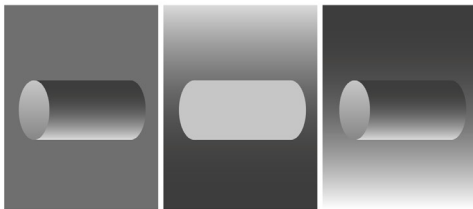
Die moderne Industrie bemüht sich aktiv darum, diesen Effekt zu minimieren, indem sie Farben mit **stabilen spektralen Eigenschaften** entwickelt, die trotz unterschiedlicher Beleuchtungsbedingungen ein gleichmäßiges, konsistentes Remissionsspektrum aufweisen.



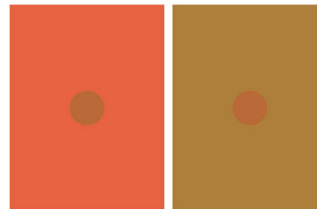
WAHRNEHMUNG UND SEHEN

Das Sehen ist ein physischer und biologischer Prozess, an dem die Augen und das Sehsystem beteiligt sind und der es uns ermöglicht, Licht und visuelle Informationen aus der Umgebung zu erfassen. Dieser Vorgang ermöglicht es uns, die physischen Eigenschaften der Umgebung wahrzunehmen, z. B. die Farbe, Form, Größe und Position von Objekten. Das Gehirn interpretiert jedoch die vom Auge empfangenen Informationen, und oft entspricht die Wahrnehmung eines Raums nicht seiner tatsächlichen Beschaffenheit.

Wahrnehmung ist ein Prozess, bei dem visuelle Informationen im breiteren Kontext emotionaler, kultureller und biologischer Erfahrungen interpretiert werden. Sie steht in engem Zusammenhang mit Reizen und ihren Kontrasten: Licht wird als Gegensatz zur Dunkelheit wahrgenommen, Farben werden in Bezug zu ihren jeweiligen Komplementärfarben interpretiert, und selbst ähnliche Farben können unter bestimmten Bedingungen unterschiedlich erscheinen. Ohne Kontrast verliert jeder Reiz die Möglichkeit, wahrgenommen zu werden.



Perception of three-dimensionality through chiaroscuro

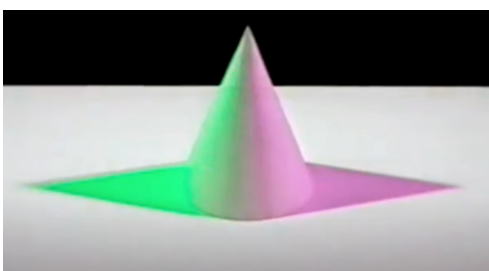


Simultaneous contrast

Das Sehen ist also niemals ein objektiver Faktor, sondern vielmehr eine Interpretation von Elementen, die im visuellen Feld kontextualisiert sind. Dieses Sicht- oder Wahrnehmungsfeld kann mit dem Rahmen eines Gemäldes oder dem Fenster, durch das wir eine Landschaft betrachten, verglichen werden. Es ist skalierbar, wie eine Matroschka: Je näher wir einem Objekt kommen, desto kleiner wird das visuelle Feld, und seine Interpretation ändert sich entsprechend.

Ein gängiges Beispiel für wahrnehmungsbedingte Effekte ist die **Chiaroscuro-Technik**, bei der mittels starker Hell-Dunkel-Kontraste auf einem **zweidimensionalen Objekt** die Illusion von Dreidimensionalität erzeugt wird. Ein weiteres Beispiel ist der sogenannte Simultankontrast, bei dem dieselbe Farbe je nach Hintergrund, vor dem sie wahrgenommen wird, unterschiedlich erscheint.

Zur Farbwahrnehmung gibt es ein sehr interessantes Experiment von **Johann Wolfgang von Goethe**: Ein Kegel wird von zwei einander gegenüberstehenden weißen Lichtquellen beleuchtet. Zu jeder Seite des Kegels zeigt sich ein grauer Schatten. Nun wird über die Lichtquelle auf der linken Seite ein grüner Farbfilter gelegt, die Lichtquelle auf der rechten Seite wird ausgeschaltet, sodass nur noch rechts ein grauer Schatten übrig bleibt. Wird das rechte Licht wieder eingeschaltet, zeigt sich ein verblüffendes Phänomen: Der Schatten rechts erscheint aufgrund der Interpretation unseres Gehirns in der Komplementärfarbe zu Grün, obwohl es sich in Wirklichkeit noch immer um einen grauen Schatten handelt.



WIE MAN MIT HILFE VON BELEUCHTUNG EINE NEUE RAUMWAHRNEHMUNG ERZEUGT

Durch Variationen in der Lichtintensität, -farbe und -sättigung nimmt das menschliche Auge Licht- und Schattenbereiche in einem Raum wahr und ordnet der Umgebung Formen und Dimensionen zu. Die Interaktion zwischen den Eigenschaften von Beleuchtung und Oberflächen spielt eine grundlegende Rolle bei der räumlichen Gestaltung. Die folgenden Beispiele zeigen eindrucksvoll, wie sich die Grenzen der Raumwahrnehmung mithilfe von Beleuchtung verschieben lassen.

Die Wahrnehmungsforschung, die dem Licht eine wesentliche Rolle im visuellen Prozess des Verstehens und Erlebens von Räumen zuschreibt, findet ihren höchsten Ausdruck in den Werken von **James Turrell**. Auf bahnbrechende Weise hat dieser Künstler die taktile Qualität des Lichts greifbar gemacht. Er ist bekannt für die Nutzung des „Ganzfeld-Effekts“, durch den er Räume schafft, in denen der Betrachter keinerlei Orientierungspunkte ausmachen kann – so verwandelt Turrell begrenzte Räume in endlos weite Landschaften. Der Betrachter taucht in einen Raum ohne visuelle und akustische Reize ein, in dem es keine Möglichkeit zur Herstellung von Bezugspunkten gibt, da die Oberflächen der Umgebung vom homogenen Licht ausgefüllt werden



WHITEPAPER

modulyss®

WHITEPAPER

Ein weiteres bemerkenswertes Beispiel ist die Arbeit von **Jorrit Tornquist**, einem österreichisch-italienischen Farbberater und -theoretiker, der im Laufe seiner Karriere immer wieder gezeigt hat, wie der strategische Einsatz von Farbe das architektonische Design bereichern und zur Schaffung funktionaler Räume mit unverwechselbarem Charakter beitragen kann

Eines seiner repräsentativsten Werke ist das Farbdesign für die Müllverbrennungsanlage im italienischen Brescia, eine hochmoderne Anlage zur Energierückgewinnung aus Hausabfällen. Da sich die Anlage direkt an der Autobahn Mailand-Venedig befindet und zudem als Aushängeschild für das Unternehmen und die Stadt dienen sollte, wurde besonderer Wert auf eine ansprechende Einbindung in die Landschaft gelegt. Der 120 Meter hohe Turm zeigt eine Abfolge blaugrauer Farbtöne, die sich harmonisch mit den Farben des Himmels verbinden, egal bei welchem Wetter. Die gewählten Farben berücksichtigen die vorherrschenden Lichtverhältnisse, und sogar die Anordnung der umliegenden Grünflächen wurde so geplant, dass harmonische Farbkombinationen mit den Gebäuden entstehen, die auch im Wechsel der Jahreszeiten ästhetisch wirken. Diese Farbwahl fördert die Integration des Bauwerks in die Umgebung und sorgt für ein dynamisches und sich ständig veränderndes visuelles Erlebnis.



In **Transitbereichen** erweist sich eine Innenraumgestaltung, bei der sich die Lichtwahrnehmung kontinuierlich verändert und damit die natürlichen Veränderungen der Umgebung widerspiegelt, als besonders effektiv. Insbesondere in Flugzeugen, aber auch in Bahnhöfen und anderen Transitzonen, werden fortschrittliche Beleuchtungslösungen eingesetzt, die eine Raumwahrnehmung erzeugen, die von der tatsächlichen Form des Raums abweicht

Auf Langstreckenflügen wird mithilfe bestimmter Lichtfarben ein Tag-und-Nacht-Rhythmus erzeugt. Besonders gelungene Beispiele in diesem Bereich sind die Kabinenbeleuchtung von Island Air, die das Polarlicht und dessen typische Bewegungen simuliert, und die Kabinenbeleuchtung von Emirates Air, die nicht nur die Farben des Himmels, sondern auch den Sternenhimmel nachbildet. Bemerkenswert sind auch die Beleuchtungsdesigns des Stockholmer Hauptbahnhofs und des Bahnhofs von Oslo – beide Projekte wurden von Light Bureau realisiert.



WHITEPAPER

modulys®

WHITEPAPER

Weitere repräsentative Beispiele finden sich im Gesundheitswesen. Hier werden Patientenzimmer bis hin zu diagnostischen Geräten mit Beleuchtungen ausgestattet, die eine von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichende Raumwahrnehmung erzeugen und auf diese Weise eine einladende und natürliche Atmosphäre schaffen. Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass die Wahrnehmung einer natürlichen Umgebung sich äußerst positiv auf den Genesungsprozess von Patienten auswirkt. Beachtenswert sind in diesem Bereich das Phoenix Children's Hospital in Arizona und das Philips Healthcare Spectral CT 7500-Diagnosegerät, das den Patienten wechselnde, beruhigende Beleuchtungsszenarien bietet.



WHITEPAPER

modulyss®

WHITEPAPER

TECHNOLOGISCHE INNOVATION UND UMWELT- TAUSWIRKUNGEN VON BELEUCHTUNGSLÖSUNGEN

ENERGIEEFFIZIENTE BELEUCHTUNGSSTRATEGIEN UND NACHHALTIGKEIT

Energieeffizienz ist ein Grundpfeiler der modernen Raumlichtgestaltung. Energiesparende Lösungen senken nicht nur die Betriebskosten, sondern tragen auch dazu bei, die Umweltbelastung durch Wohn-, Geschäfts- und öffentliche Gebäude zu verringern. Die rasante Entwicklung der LED-Technologie hat den Energieverbrauch erheblich gesenkt, da LEDs im Vergleich zu Glühlampen bis zu 80 % weniger Energie verbrauchen. Auch Beleuchtungskörper halten länger, wenn LED- statt Glühlampen verwendet werden. Aufgrund des geringeren Energieverbrauchs müssen die Lampen nicht mehr so häufig ausgetauscht werden, wodurch weniger Abfall anfällt. Darüber hinaus ermöglichen fortschrittliche Beleuchtungsmanagementsysteme eine präzise Überwachung und Steuerung des Energieverbrauchs, sodass zeitnah Anpassungen vorgenommen werden können, die die Gesamteffizienz optimieren.

Was die **Beleuchtungskörper** an sich betrifft, sollte man darauf achten, dass die Produkte aus nachhaltiger Herstellung stammen und ihre Materialien wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden können. Wichtig ist auch die Austauschbarkeit einzelner Komponenten, damit im Falle eines Defekts nicht die gesamte Leuchte ersetzt werden muss.

Eine der effektivsten Strategien im Bereich der Raumlichtgestaltung ist das sog. **Daylight Harvesting**, bei dem die Nutzung des Tageslichts mit einem automatischen Steuerungssystem kombiniert wird. Mithilfe von Sensoren wird die Intensität des künstlichen Lichts an die Menge des im Raum verfügbaren natürlichen Lichts angepasst, was eine gut beleuchtete Umgebung gewährleistet und Energieverschwendung entgegenwirkt. Dieser Ansatz ist besonders nützlich in Büros mit großen Fenstern oder in gewerblichen Räumen, in denen die Menge des natürlichen Lichts im Laufe des Tages variiert.



Der Nachdruck auf Energieeffizienz prägt das Beleuchtungsdesign in jeder Hinsicht. So wird der Einsatz hocheffizienter LED-Technologien zunehmend mit Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien, wie z. B. Solarmodulen, kombiniert, die sich nahtlos in Architekturprojekte und Produkte integrieren lassen.

Ein Beispiel hierfür ist **La Seine Musicale** in Paris, wo das gesamte Außenbeleuchtungssystem von einem rotierenden Photovoltaik-Segel gespeist wird. Das von Shigeru Ban und Jean de Gastines entworfene Segel folgt dem Lauf der Sonne, um die Energieerzeugung zu maximieren, während das LED-Beleuchtungssystem den Verbrauch auf ein Minimum reduziert.

Diese Trends stehen für die Konvergenz von menschlich orientierter Innovation und ökologischer Verantwortung und ebnen den Weg für Beleuchtungslösungen, die sowohl das menschliche Erlebnis als auch die ökologische Nachhaltigkeit verbessern.

Beim nachhaltigen Design geht es nicht nur darum, auf die Umwelt zu achten, sondern auch um die Einhaltung von Vorschriften in einem Markt, der diesen Themen einen zunehmend hohen Stellenwert beimisst. Das Ergebnis sind effizientere Gebäude, die einen angenehmeren Aufenthalt bieten und harmonisch in ihre natürliche Umgebung integriert sind.

INTELLIGENTE BELEUCHTUNGSSYSTEME: IOT, KI- INTEGRATION UND FERNSTEUERUNG

Intelligente Beleuchtung stellt eine der bedeutendsten Entwicklungen der letzten Jahre dar. Sie verwandelt architektonische Umgebungen in dynamische, effiziente und anpassbare Räume. Im Zentrum dieser Revolution steht das **Internet der Dinge** (IoT), mit dessen Hilfe Beleuchtungsvorrichtungen untereinander, mit anderen Geräten und mit den Benutzern über digitale Netzwerke kommunizieren können. Bewegungsmelder sorgen beispielsweise dafür, dass die Beleuchtung nur bei Bedarf eingeschaltet wird, wodurch sich der Energieverbrauch drastisch verringert. Umgebungssensoren können die Lichtintensität und Farbtemperatur auf Grundlage der natürlichen Helligkeit (Tageslicht) oder der Vorlieben des Benutzers anpassen.

Ein weiteres Tool, das in Beleuchtungsmanagement- und Steuerungssysteme integriert werden kann, ist die **künstliche Intelligenz** (KI). Fortschrittliche Algorithmen analysieren die von Sensoren gesammelten Daten, um die Nutzung von Beleuchtungsressourcen in Echtzeit zu optimieren und so maximalen Sehkomfort bei minimaler Energieverschwendung zu gewährleisten. In einer Büroumgebung kann ein KI-System beispielsweise Spitzenauslastungszeiten vorhersagen und die Beleuchtung so anpassen, dass optimale Arbeitsbedingungen garantiert sind und gleichzeitig Energieeinsparungen erzielt werden können.

Die **Steuerung** dieser Beleuchtungssysteme kann dann remote über mobile Apps oder zentralisierte Software erfolgen, wodurch eine effiziente Verwaltung großer Gebäude auf einfache und intuitive Weise ermöglicht wird. Diese Technologie, die in kommerziellen Projekten bereits weit verbreitet ist, setzt sich allmählich auch in Wohngebäuden durch und definiert die Standards für Komfort und Nachhaltigkeit neu.

Die parallele Entwicklung der **Nanotechnologie** ebnet den Weg für eine fortschrittliche Hausautomation und die Quantified-Self-Bewegung (Q.S.), die ein intelligentes Management von Beleuchtungssystemen nicht nur unter dem Aspekt des Energieverbrauchs ermöglicht. Diese neuen Technologien ermöglichen die Steuerung und Modulation von Effekten auf Körper und Geist durch die Interpretation von Echtzeitdaten. Die Fähigkeit, physiologische Daten zu sammeln und zu nutzen, die die Reaktionen auf äußere Reize genau widerspiegeln, ohne das Risiko einer subjektiven Interpretation, ist ein bisher ungekanntes Privileg.

Diese Arten der Automatisierung eignen sich besonders für Räume, die über lange Zeiträume genutzt werden, wie etwa Büros oder Wohnungen, wo eine variable künstliche Beleuchtung die natürlichen Veränderungen der Lichtverhältnisse im Laufe eines Tages imitieren und dadurch effektiv zur Synchronisierung der circadianen Rhythmik des Körpers beitragen kann.

Das als eines der nachhaltigsten Gebäude der Welt bekannte „The Edge“ in Amsterdam, ein Projekt von PLP Architecture mit Beleuchtungslösungen von Philips Lighting, verkörpert Energieeffizienz und nutzerorientierte Beleuchtung. Das Gebäude verfügt über ein hochmodernes Netzwerk aus LED-Leuchten, die mit einem digitalen, auf IoT-Technologie basierten Beleuchtungssystem verbunden sind. Jede Leuchte ist einzeln ansteuerbar und passt sich in Echtzeit an Tageslichtniveau, Belegung und Nutzerpräferenzen an.

Raumhohe Fenster maximieren den Tageslichteinfall, während Sensoren für die Tageslichtnutzung (Daylight Harvesting) den Einsatz von künstlichem Licht optimieren. Dieser Ansatz reduziert den Energieverbrauch erheblich und sorgt gleichzeitig für eine visuell ansprechende Umgebung. Das Beleuchtungskonzept von The Edge in Kombination mit seinen energieeffizienten Systemen hat die BREEAM-Zertifizierung „Outstanding“ erhalten und ist damit eines der umweltfreundlichsten und intelligentesten Bürogebäude der Welt.



ZERTIFIZIERUNGEN UND STANDARDS FÜR NACHHALTIGE BELEUCHTUNG

Internationale Zertifizierungen sind ein wichtiger Maßstab bei der Planung von Projekten, bei denen sowohl das geistige und körperliche Wohlbefinden der Gebäudenutzer als auch der Energieverbrauch von Beleuchtungssystemen im Vordergrund steht. Zu den bekanntesten gehören der WELL Building Standard und LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Diese Standards stellen sicher, dass Gebäude strenge Kriterien für Energieeffizienz und Umweltqualität erfüllen.

Das System des **WELL Building Standard** legt den Schwerpunkt auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Gebäudenutzer, einschließlich spezifischer Kriterien für die Beleuchtung. So müssen beispielsweise circadiane Beleuchtungssysteme eingesetzt werden, um den natürlichen biologischen Rhythmus der Nutzer zu unterstützen und eine übermäßige Exposition gegenüber blauem Licht zu vermeiden, da sich dieses negativ auf den Schlaf und die allgemeine Gesundheit auswirken kann. Empfohlen wird außerdem die Verwendung flimmerfreier Beleuchtung, um die Augenbelastung zu reduzieren.

LEED hingegen bewertet den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes und belohnt den Einsatz energiesparender Beleuchtungstechnologien sowie automatisierter Steuerungssysteme. Um LEED-Punkte zu erhalten, müssen Projekte eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs im Vergleich zu den Basisstandards und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, z. B. Photovoltaikanlagen zur Stromversorgung der Beleuchtung, nachweisen.

Andere Zertifizierungen wie BREEAM und Green Globes legen den Fokus auf spezifische Aspekte wie die Reduzierung der Lichtverschmutzung und die Verwendung nachhaltiger Materialien für Beleuchtungskörper. Sie fördern nachhaltige Designentscheidungen und tragen dazu bei, den Marktwert von Gebäuden zu steigern, da Investoren und Mieter heute zunehmend auch ökologische Kriterien berücksichtigen.

Das Erlangen von Zertifizierungen ist nicht nur ein Zeichen sozialer Verantwortung, sondern auch ein Wettbewerbsvorteil, der Architekten und ihre Gebäude als führend in der ökosystembewussten und auf Wohlbefinden ausgerichteten Designlandschaft positioniert.

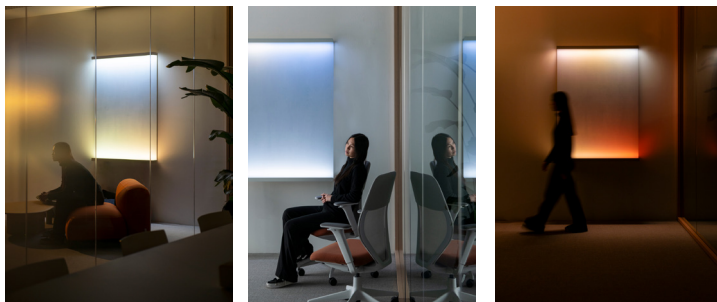
BEDÜRFNISSE ANTIZIPIEREN: RAUMBELEUCHTUNG AM PULS DER ZEIT

ABSTIMMUNG VON BELEUCHTUNG UND MATERIALIEN

Bei einem gelungenen Innenarchitekturprojekt sind die Beleuchtung und die spezifischen Eigenschaften der Materialien und Oberflächen in einem Raum aufeinander abgestimmt. Nachfolgend sind einige Beispiele für vorbildliche Designpraktiken in dieser Hinsicht aufgeführt.

- **Künstliches Licht im Wechselspiel mit metameren Oberflächen**
Ein Beispiel in diesem Bereich ist das innovative System Ora Blu von Erika Baffico (Fulcro Design). Die „Ora Blu“-Beleuchtungsanlage bietet eine standortspezifische Simulation der dynamischen Veränderungen des Himmels, die auf eine Abstimmung des Lichts in geschlossenen Räumen mit natürlichen Biorhythmen abzielt. Durch die Nutzung intelligenter, auf Algorithmen und KI basierender Steuerungen passt sich das innovative System an standortspezifische Variablen an und erzeugt auf diese Weise konsistente und doch abwechslungsreiche Lichtszenarien. Das emittierte LED-Licht interagiert mit einer speziell formulierten Wandfarbe, die sehr empfindlich auf Lichtschwankungen reagiert und der Oberfläche eine veränderliche, fast „lebendige“ Qualität verleiht.
- **Natürliches Licht im Wechselspiel mit filternden Oberflächen**
Ein bemerkenswertes Beispiel für filternde Oberflächen ist die Kirche Nostra Signora della Misericordia in Baranzate, die 1957 von Mangiarotti, Favini und Morassutti entworfen wurde. Ihre Außenwände bestehen aus in Glaspaneelen eingefassten Styroporplatten, die das natürliche Licht gleichmäßig in der Kirche verteilen und eine sanfte und ruhige Atmosphäre schaffen. Erwähnenswert sind hier auch die gotischen Kathedralen, bei denen das durch die bunten Glasfenster gefilterte Licht bei der Reflexion an Böden und architektonischen Elementen ein farbiges Lichtspiel erzeugt, welches das Raumerlebnis bereichert.
- **Wechselspiel mit Oberflächenstrukturen**
Wände und Böden interagieren auf natürliche Weise mit Licht. Texturen mit unterschiedlichen Tiefen und Prägungen erzeugen auffällige Kontraste und projizierte Schatten. Werden diese auf vertikalen Flächen angebracht, können sich im Laufe des Tages durch Richtungsänderung des Lichts faszinierende Variationen im Erscheinungsbild ergeben.

Diese Beispiele zeigen, wie eine wohlüberlegte Kombination von Licht, Material und Textur Innenbereiche aufwerten und Umgebungen schaffen kann, die sowohl funktional als auch optisch ansprechend sind.



WHITEPAPER

modulyss®

WHITEPAPER

LICHT UND SEINE WIRKUNG AUF DEN FUSSBODEN

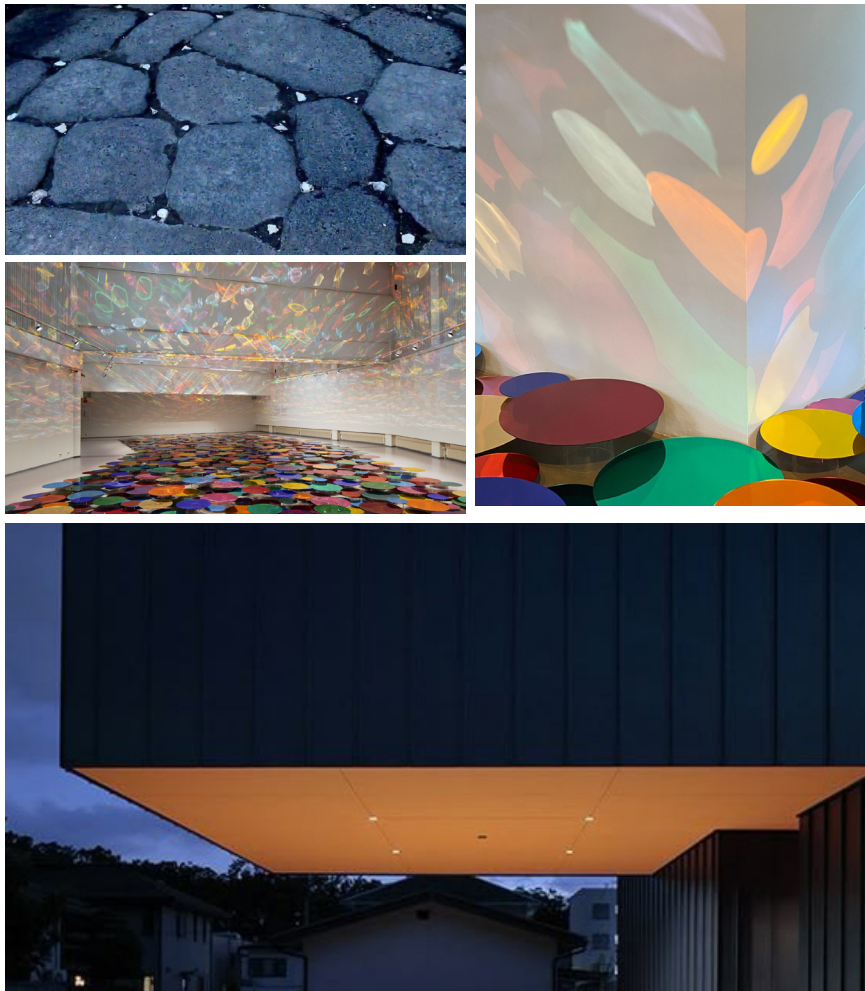
Die Beleuchtung hat einen erheblichen Einfluss auf das Aussehen und die Funktionalität von Bodenbelägen. Ob aus natürlichen oder künstlichen Materialien: Böden interagieren auf einzigartige Weise mit Licht, da sie aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften das Licht unterschiedlich absorbieren, reflektieren oder streuen.

Die Farbe des Bodens spielt eine entscheidende Rolle bei der Wahrnehmung der Lichtintensität: Dunklere Farbtöne absorbieren mehr Licht, während hellere Töne stärker reflektieren und somit die Helligkeit verstärken. Es wird vermutet, dass die alten Römer sich dieses Prinzip zunutze machten, um nachts Straßen zu beleuchten. In Pompeji beispielsweise zeigen archäologische Funde, dass die Straßenoberflächen aus großen grauen Steinplatten bestanden, die mit kleineren weißen Steinen durchsetzt waren, an denen das Mond- oder Fackellicht reflektiert wurde.

Farbige Oberflächen können ihre Farbtöne auch als reflektiertes Licht projizieren. Ein inspirierendes Beispiel hierfür sind die Arbeiten der Künstlerin Liz West, die dichroitische Filter auf dem Boden platziert und Farbverblendungstechniken einsetzt, um überraschende Lichtspiele an Wänden und Decken zu erzeugen.

Weißer Böden hingegen können als echte Reflektoren fungieren. Wenn zum Beispiel Deckenstrahler nach unten ausgerichtet platziert werden, wird das Licht vom weißen Boden reflektiert und zur Decke zurückgeworfen, wodurch ein nahezu magischer Lichteffekt entsteht.

Diese Beispiele unterstreichen, wie Bodenbeläge in Kombination mit einem durchdachten Lichtkonzept zu einem entscheidenden Element für das visuelle und sensorische Raumerleben werden können.



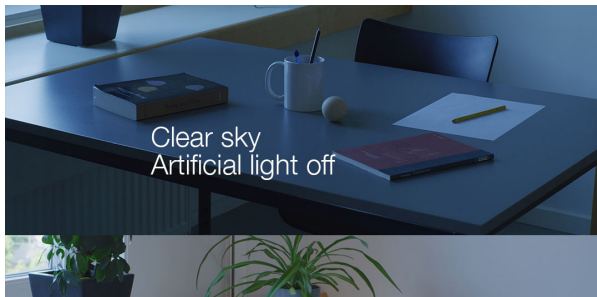
AKTUELLE TRENDS IN DER ARCHITEKTUR- UND RAUMBELEUCHTUNG

Die vorherrschenden Trends im zeitgenössischen Architektur- und Raumbeleuchtungsdesign zeigen eine verstärkte Ausrichtung auf das geistige und körperliche Wohlbefinden, ermöglicht durch technologische Fortschritte bei der Lichtsteuerung und der Miniaturisierung von Lichtquellen, sowie einen Fokus auf Energieeffizienz.

Das Prinzip des **Human-Centric Lighting (HCL)**, bei dem mithilfe dynamischer Beleuchtungssysteme ein harmonisches Zusammenwirken mit natürlichen Ökosystemen erreicht werden soll, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Ansatz zielt darauf ab, das menschliche Wohlbefinden zu steigern, indem die natürlichen Rhythmen des Sonnenlichts widergespiegelt werden. HCL kommt immer häufiger in Büros, Krankenhäusern, Schulen und Wohngebäuden zum Einsatz. Es beruht auf Systemen, die die Farbtemperatur und Lichtintensität der Beleuchtung im Verlauf des Tages entsprechend der circadianen Rhythmik anpassen.

Ein wegweisendes Projekt in diesem Bereich ist Double Dynamic Lighting (DDL). Dabei handelt es sich um ein gemeinsames Forschungsprojekt der führenden Beleuchtungstechnologieunternehmen Tridonic, iGuzzini, Fagerhult, Zumtobel und der Universität Aalborg. DDL stellt ein Designkonzept für dynamische Raumbeleuchtung vor, das natürliches Licht mit künstlichem Licht kombiniert und auf wechselnde Tageslichtverhältnisse reagiert.

Die elektrische Beleuchtung passt sich dynamisch und in Echtzeit an das natürliche Tageslicht an und ergänzt dieses, sodass eine ansprechendere, gesundheitsfördernde Umgebung entsteht. In Studien, die an der Universität Aalborg durchgeführt wurden, berichteten die Teilnehmer, die über längere Zeiträume DDL ausgesetzt waren, von einer angenehmeren Atmosphäre sowie von Verbesserungen in Bezug auf Motivation, Konzentration und Arbeitsfluss. Diese Ergebnisse unterstreichen das Potenzial von DDL, die Gestaltung kreativer Arbeitsplätze, Bildungseinrichtungen und Gesundheitseinrichtungen zu revolutionieren.



ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT DES BELEUCHTUNGSDESIGNS

Die Perspektive für die Zukunft besteht darin, eine Beleuchtung zu entwickeln, die nicht nur die Umgebung aufwertet, sondern die Qualität des natürlichen Lichts im Innenbereich reproduziert. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Lebensqualität zu verbessern und das körperliche, emotionale und intellektuelle Wohlbefinden zu fördern. Durch einen Fokus auf diese Aspekte kann Beleuchtung eine positive Wirkung auf zwischenmenschliche Beziehungen, auf die Produktivität und die allgemeine Zufriedenheit entfalten. Im Beleuchtungsdesign werden immer mehr fortschrittliche Technologien wie KI und das Internet der Dinge zum Einsatz gebracht werden, um adaptive, energieeffiziente Umgebungen zu schaffen, die den menschlichen Bedürfnissen entgegenkommen und zur Nachhaltigkeit beitragen. Die Zukunft der Beleuchtung wird eine harmonische Verbindung von menschlicher Erfahrung und Umweltschutz zuwege bringen, von der Mensch und Umwelt gleichermaßen profitieren.

WHITEPAPER

modulyss®

WHITEPAPER

EMPFOHLENE LITERATUR

- Junichiro Tanizaki, In Praise of Shadows, Leete's Island Books, 1977
- Lorenzo Simoni, My Lighting Handbook, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017, 3. Ausgabe
- Beppe Finessi, Fare Luce, Corraini, Mantua, 2017
- Gino Sarfatti, Il design della luce, Corraini, Mantua, 2012

QUELLENVERZEICHNIS

- Kevin W. Houser und Tony Esposito, Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process, Artikel in Frontiers in Neurology, Januar 2021
- Laura Bellia und Francesca Fragliasso, Good Places to Live and Sleep Well: A Literature Review About the Role of Architecture in Determining Non-Visual Effects of Light, Artikel im International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021
- Jorrit Tornquist, Colore e Luce. Teoria e Pratica, Istituto del Colore, Mailand, 1999
- AA.VV., Psicologia della percezione, Mazzotta, Mailand, 1979
- AA.VV., James Turrell. Geometrie di luce - Roden Crater Project, Hrsg. Agostino de Rosa, Electa, Mailand, 2007
- Rotaliana (Hrsg. Ascione, Lauda, Malisan), Tutto quello che avreste voluto sapere sulla luce, ma non avete mai osato chiedere, Trient, 2019
- Giovanni Traverso, Modeling daylight, Via-Verlag, Gütersloh, 2015
- Barbara Gherri, Luce naturale e daylight assesment. Nuovo protocollo per la valutazione degli spazi confinati, Dottorato di ricerca, Università Parma, Fachbereich für Bauingenieurwesen, Umwelt, Territorium und Architektur
- Alvar Aalto, Architettura per leggere, Architecture to read, Katalog zur Ausstellung „Architettura per leggere“, Rom, Gangemi, 2003, S. 112-125.
- Carlo Bertelli, La luce e il progetto, in Francesco Dal Co, Giuseppe Mazzariol, Carlo Scarpa, Opera Completa, Mailand, Electa, 1984-1992, S. 191-194
- Marck S. Rea, Ph.D., Light. Much More Than Vision, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, 2007
- MS Rea Lighting Research Center, The lumen seen in a new light: making distinction between light, lighting and neuroscience, 2015
- Jorrit Tornquist, Il colore perché la città sia labirinto di sorprese, Turin, Gazzetta dei Popolo, 31. Januar 1979
- Matteo Zambelli und Jorrit Tornquist, Il progetto cromatico della torre del Termoutilizzatore di Brescia, in Firenze Architettura (1, 2017), S. 146-153
- Velux Group, Daylight as a driver of change, Daylight & Architecture Magazine, Ausgabe 24, Herbst 2015
- Christian Norberg-Schulz und Gennaro Postiglione, Sverre Fehn. Opera Completa, Mailand, Mondadori, 1997, S. 20, 42, 46, 55.
- Henry Plummer, The architecture of natural light, Londra, Thames & Hudson, 2012