

1

Einführung

Wie der Theaterreformer Adolf Appia zu Anfang des 19. Jahrhundert sagte: „Licht wird nicht mehr gemalt, sondern gelehnt“, ist der Einsatz von Licht und Beleuchtung im Medienbereich vielfältig. Beginnend vom Theaterstück über Fernsehsendungen, den Film bis hin zu großen Events. Der visuelle Kanal ist bei Menschen immer noch dominant, da rund 80% der Wahrnehmung über das Auge erfolgt.

Die Wirkung des Lichts im Medienbereich kann man in verschiedene Bereiche unterteilen. Licht macht Objekte wahrnehmbar und ist verantwortlich für die Güte der Wahrnehmung. Licht hat eine dramatische Rolle in der Weise, dass es als untrennbarer Teil der szenischen Handlung auftritt. Licht rückt die Bühne, die Filmkulisse, aber auch die Architektur ins „rechte Licht“. Licht bringt Farben und Oberflächen zur Geltung. Licht beeinflusst die physiologischen Vorgänge beim Sehen und Erkennen und Licht wirkt motivierend auf die Menschen.

In diesem Lehrbuch wird der Bogen vom Theater über das Fernsehen, den Film bis zum Event- und Showbereich gezogen. Dabei wird im ersten Drittel des Lehrbuches die Theorie betrachtet, wie z.B. die physikalischen Eigenschaften des Lichts, die lichttechnischen Grundgrößen wie Lux und Lumen bis hin zur Physiologie des Auges.

Ausgehend von dem menschlichen Auge und unter Berücksichtigung der Helligkeits- und Farbwahrnehmung werden dann die grundlegenden Parameter der Farbmeterik vorgestellt. Wer sich mit Licht und Beleuchtung beschäftigt, muss die Grundlagen der Farbmeterik kennen sowie die dazu notwendigen Messtechniken. Auf dieser Theorie aufbauend, werden im zweiten Teil des Buches die „Geräte“, d.h. die Lichtquellen, die Scheinwerfer, die Lichtstellanlagen und die Medienserver erläutert.

In den letzten Kapiteln des Buches werden dann die Anwendungen betrachtet. Dabei werden die Besonderheiten bei der Theaterbeleuchtung, dem Fernsehlicht, der Filmbeleuchtung sowie das Besondere beim Show- und Event-Licht und das Zusammenwirken der verschiedenen Bereiche aufgezeigt.

Abschließend werden umfangreich die Lichttechnik der Zukunft und ihre Möglichkeiten vorgestellt sowie das Zusammenwachsen der Lichttechnik mit der Lichtarchitektur betrachtet.

Am Ende dieses Buches werden Sie verstehen, warum es in den letzten Jahren ein immer stärkeres Zusammenwachsen der verschiedenen Bereiche Licht, Video und Netzwerktechnik gibt. Andererseits werden Sie die unterschiedlichen Herangehensweisen in den einzelnen Medienbereichen kennenlernen, je nachdem, ob Sie über Licht im Theater, im Fernsehen, beim Film oder über Event sprechen.

Es ist ein Grundlagenbuch, geschrieben für Studierende in Medienstudiengängen wie z. B. Medientechnik, Veranstaltungstechnik und Mediengestaltung, für Auszubildende im AV- und im Veranstaltungsbereich sowie für Lichtplaner und Lichtdesigner. Natürlich auch für all diejenigen, die sich für das Thema Licht und Beleuchtung in Medien interessieren.

2

Licht und Strahlung

Bevor der Bereich der Lichttechnik genauer und ausführlich behandelt wird, werden die physikalischen Grundlagen kurz erläutert. Licht bzw. optische Strahlung ist bis zum Auftreffen auf das Auge bzw. die Netzhaut eine elektromagnetische Welle und gehört zu dem Bereich der Physik. Erst durch die wellenlängenabhängige Bewertung des Lichts durch die in der Netzhaut vorhandenen Rezeptoren (**Zapfen und Stäbchen**) müssen neue Einheiten (lichttechnische Einheiten) verwendet werden. Den Bereich der optischen Strahlung kann man in Strahlenoptik, Wellenoptik und Quantenoptik unterteilen. Da bei der klassischen Lichttechnik immer in Dimensionen gearbeitet wird, die deutlich größer sind als die betrachteten Wellenlängen, wird in den weiteren Kapiteln von der Strahlungsoptik bzw. der Strahlungsphysik ausgegangen.

■ 2.1 Strahlungsphysik und Fotometrie

Während die Strahlungsphysik Begriffe wie z. B. Strahlungsleistung oder Bestrahlungsstärke verwendet, benutzt die Fotometrie bzw. die Lichttechnik Begriffe wie Lichtstrom oder Beleuchtungsstärke. Der Unterschied zwischen den strahlungsphysikalischen und den fotometrischen Größen liegt darin, dass die Strahlungsphysik energetische Größen verwendet, die Fotometrie diese Größen jedoch unter Einbeziehung des Auges bzw. konkret der **spektralen Hellempfindlichkeit** des menschlichen Auges betrachtet. D. h., das menschliche Auge gewichtet die einzelnen Wellenlängen des sichtbaren Lichts unterschiedlich, sodass die Licht- und Beleuchtungstechnik nicht mit physikalischen Begriffen/Einheiten arbeiten kann, sondern eigene, neue Begriffe wie Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte benötigt.

Wellenlänge und Frequenz

Da es sich bei Licht um eine elektromagnetische Strahlung handelt, werden die Begriffe Wellenlänge oder Frequenz verwendet. Zwischen der Wellenlänge λ und der Frequenz f einer Strahlung besteht folgender Zusammenhang:

$$c = f \cdot \lambda \quad (2.1)$$

c = Lichtgeschwindigkeit (299 999 km/sec)

f = Frequenz (Hz)

λ = Wellenlänge (nm)

■ 2.2 Strahlung und Spektrum

Die Strahlung, die der Mensch erkennen kann (380 nm – 780 nm), gehört zum Gesamtbereich der elektromagnetischen Strahlung, die von der kosmischen Strahlung bzw. Höhenstrahlung (10^{-15} m) bis zu den technischen Wechselströmen reicht (10^7 m). Der Bereich der optischen Strahlung reicht vom kurzwelligen Bereich der UV-Strahlung (Wellenlänge ab 100 nm) bis zum langwelligen Infrarot-Bereich (Wellenlänge bis 10^6 nm). Im langwelligen Bereich schließen sich die technischen Strahlungen wie Mikrowellenstrahlung etc. an, im UV-Bereich die Röntgenstrahlung, siehe auch Bild 2.1.

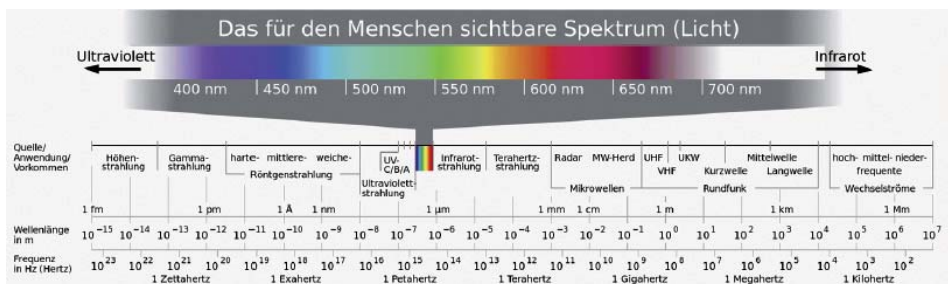


Bild 2.1 Gesamtes Spektrum der elektromagnetischen Wellen

2.2.1 Sichtbare Strahlung

Von der optischen Strahlung insgesamt vermag das menschliche Auge nur den relativ schmalen Bereich von etwa 380 nm bis 780 nm Wellenlänge als Licht zu empfinden, der nach dem Eintritt in das Auge eine Hellempfindung auslöst, siehe Bild 2.2.

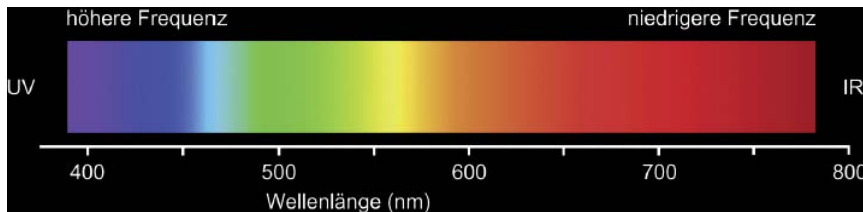


Bild 2.2 Sichtbare Strahlung bzw. Farbspektrum

2.2.2 UV-Strahlung

Der Bereich der Ultraviolettstrahlung (UV) von 100 nm bis 380 nm Wellenlänge wird in drei Bereiche unterteilt (UV-C, UV-B, UV-A):

- UV-C von 100 nm bis 280 nm (hat eine stark keimtötende Wirkung, es wandelt Luftsauerstoff in Ozon um),
- UV-B von 280 nm bis 315 nm (bildet im menschlichen Körper das Vitamin D₂, erzeugt Sonnenbrand),
- UV-A von 315 nm bis 380 nm (bräunt die menschliche Haut).

Eine sehr wichtige Anwendung findet die UV-Strahlung in Gasentladungslampen, z. B. Leuchtstofflampen, in denen die UV-Strahlung mithilfe von Leuchtstoffen in sichtbares Licht umgewandelt wird. Andererseits erzeugen Hochdruckmetallampfen (z. B. HMI) einen Anteil von bis zu 25% an UV-Strahlung von der Gesamtleistung, sodass diese Leuchtmittel beim Einsatz in Scheinwerfern durch ein Glas abdeckt werden, damit das Auge nicht geschädigt wird (Glas lässt Licht ab 380 nm kaum noch durch).

2.2.3 IR-Strahlung

Am langwelligen Ende des Lichts schließt sich die IR-Strahlung an, auch Wärmestrahlung genannt. Der Bereich der IR-Strahlung wird wie der UV-Bereich ebenfalls in drei Bereiche unterteilt: IR-A (780 nm - 1400 nm), IR-B (1400 nm - 3000 nm), und IR-C (3000 nm - 1 mm).

■ 2.3 Physikalische Größen

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, soll in diesem Kapitel nur die physikalische Strahlung betrachtet werden. Die physikalische Strahlung ist gekennzeichnet durch ein tiefgesetztes e (e = energetisch) im Vergleich zu den lichttechnischen Größen mit einem tiefgesetzten v (v = visuell). Oftmals wird bei den lichttechnischen Größen auf das v verzichtet.

2.3.1 Strahlungsfluss Φ_e

Jede Strahlung ist ein Energiestrom. Die ausgestrahlte, transportierte oder eingestrahelte Energie pro Zeiteinheit wird in der Einheit W (1 W = 1 Joule/sec) definiert. Der Strahlungsfluss Φ_e entspricht der Strahlungsleistung.

2.3.2 Strahlstärke I_e

Die Strahlstärke I_e , auch Intensität genannt, ist der Anteil der gesamten Strahlungsleistung Φ_e , der von einer Lichtquelle im Raumwinkelement $d\Omega$ emittiert wird.

$$I_e = d\Phi_e / d\Omega [W / sr] \quad (2.2)$$

I_e = Strahlstärke
 Φ_e = Strahlungsfluss
 Ω = Raumwinkel

2.3.3 Bestrahlungsstärke E_e

Um die Intensität einer Lichtquelle zu definieren, wird der Begriff Bestrahlungsstärke E_e verwendet. Die Einheit ist Watt pro m^2 .

$$E_e = d\Phi_e / dA [W / m^2] \quad (2.3)$$

E_e = Bestrahlungsstärke
 Φ_e = Strahlungsfluss
 A = bestrahlte Fläche

2.3.4 Strahldichte L_e

Die Strahldichte L_e gibt an, welche Strahlungsleistung $d^2\Phi_e$ von einer Fläche A der Strahlungsquelle in ein Raumwinkelement $d\Omega$ ausgesendet wird.

$$L_e = d^2\Phi_e / (dA \cdot d\Omega) [W \cdot m^2 / sr] \quad (2.4)$$

L_e = Strahldichte

$d^2\Phi_e$ = Strahlungsleistung

A = Fläche

Ω = Raumwinkel

2.3.5 Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

Tabelle 2.1 zeigt die strahlungsphysikalischen und die lichttechnischen Größen im Vergleich.

Tabelle 2.1 Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

Strahlungsphysikalische Größe	Lichttechnische Größe
Strahlungsfluss Φ_e	Lichtstrom Φ
Strahlstärke I_e	Lichtstärke I
Bestrahlungsstärke E_e	Beleuchtungsstärke E
Strahldichte L_e	Leuchtdichte L
spezifische Ausstrahlung M_e	spezifische Lichtausstrahlung M
Strahlungsmenge Q_e	Lichtmenge Q
Bestrahlung H_e	Belichtung H

■ 2.4 Licht- und Emissionsspektren

Man unterscheidet bei der Strahlung bzw. der Emission von Strahlung zwischen natürlichen Lichtquellen (Sonne, Tageslicht) und künstlichen Lichtquellen (Halogenlampe, LED etc.). Das Licht bzw. die Strahlung werden dabei von den Lichtquellen emittiert (ausgestrahlt). Die Strahlung von natürlichen und künstlichen Lichtquellen kann sehr unterschiedliche Spektren (Emissionsspektren) besitzen. Des Weiteren unterscheidet man bei den Spektren zwei Arten von Strahlung. Entweder wird das Licht kontinuierlich abgestrahlt wie z. B. beim Tageslicht oder einer Glühlampe oder als Linienspektrum wie bei einer Leuchtstofflampe.

2.4.1 Kontinuierliches Spektrum

Bei der thermischen Anregung von Atomen und Molekülen in Festkörpern entsteht im Wesentlichen ein kontinuierliches Spektrum (Sonne, Glühlampe). Die Darstellung erfolgt näherungsweise durch den Planck'schen Strahler bzw. Schwarzen Körper, Definition und Details siehe Abschnitt 2.6.

Die wichtigste natürliche Strahlungsquelle ist dabei die Sonne. Sie entspricht dem Spektrum eines Schwarzen Körpers mit einer Temperatur von ungefähr 6000 K. Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre wird das Spektrum der Sonne jedoch verändert. Bild 2.3 links stellt den typischen Spektralverlauf von Tageslicht dar (Novembertag in Hamburg).

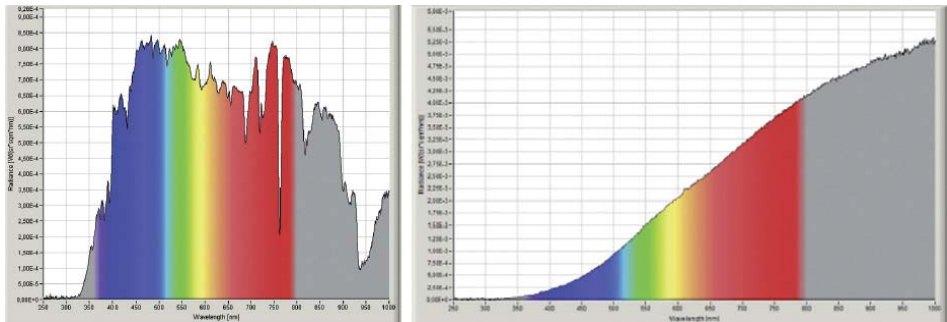


Bild 2.3 Links: Spektrum Tageslicht (Hamburg, November 2012, bewölkter Himmel); rechts: Spektrum einer Glühlampe (60 W)

2.4.2 Linienspektrum

Man spricht von Linienspektren, wie z. B. bei Leuchtstofflampen, Energiesparlampen oder Metaldampflampen, wenn nur einzelne Spektrallinien im Spektrum vorhanden sind. Der extremste Fall eines Linienstrahlers mit nur einer einzigen Linie ist der Laser. Bei der Anregung durch Elektronenstöße in Gasen entsteht ein Linienspektrum mit markanten Frequenzen, die für die Zusammensetzung des Gases charakteristisch sind. Je nach Zusammensetzung des Gases können unterschiedliche Spektren erzeugt werden (siehe Bild 2.4).

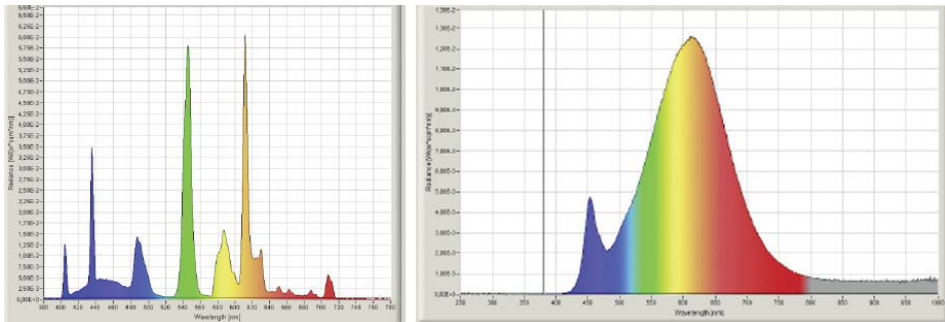


Bild 2.4 Links: Spektrum einer Leuchtstofflampe, rechts: Spektrum einer LED (Master Bulb, 12 W, Philips)

■ 2.5 Weißes und farbiges Licht

Das Sonnenlicht (weißes Licht) setzt sich aus verschiedenen Wellenlängen zusammen. Schickt man Sonnenlicht durch ein Glasprisma, so kann das Licht durch Brechung beim Eintritt bzw. beim Austritt aus dem Glasprisma in seine spektralen Bestandteile zerlegt werden. Zu jeder Wellenlänge gehört eine ganz bestimmte Farbe, die vom menschlichen Auge gesehen werden kann. Umgekehrt können die Strahlen verschiedener Wellenlängen wieder zu weißem Licht zusammengefügt werden.

Bei den üblichen Sehbedingungen/Umgebungsbedingungen sieht der Mensch das Tageslicht als weißes Licht, er kann die einzelnen Spektralbereiche nicht unterscheiden bzw. auflösen, obwohl das weiße Licht, wie im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, aus den einzelnen Spektralbereichen (Farben) zusammengesetzt ist.

2.5.1 Farbiges Licht

Da der Mensch die einzelnen Spektrallinien von Licht nicht unterscheiden bzw. auflösen kann, sieht er eine farbige Fläche bzw. eine reflektierende farbige Fläche nur als Ganzes. Zum Vergleich, das Ohr bzw. das Gehör kann die einzelnen Frequenzen eines Tones deutlich unterscheiden. Das bedeutet, das Auge kann nicht unterscheiden, ob das Licht, das auf eine Oberfläche fällt, z. B. ein gelbes Licht, aus dem reinen spektralen Gelb besteht oder aus zwei Spektralfarben (Rot und Grün), die als Mischung auch gelbes Licht erzeugen.

2.5.2 Körperfarben

Man spricht von Körperfarben, wenn Licht auf eine Fläche fällt und von dieser Fläche zum Teil reflektiert und/oder absorbiert wird. Das bedeutet, farbige Gegenstände strahlen nicht selbst die Farben aus (sind also keine Selbstleuchter), sondern es werden nur die Wellen der entsprechenden Farben reflektiert, die auf dem Gegenstand und im Spektrum des Lichts gleichzeitig vorhanden sind (siehe Bild 2.5).

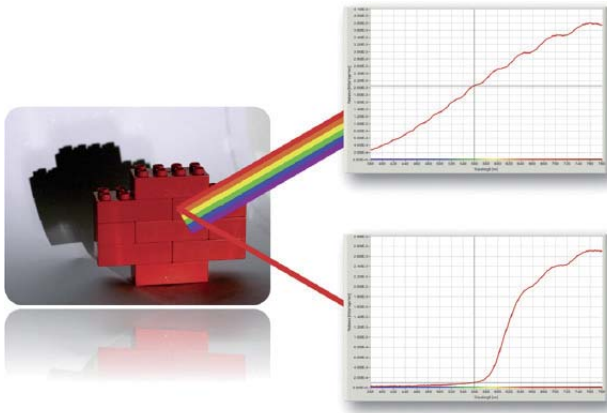


Bild 2.5 Beleuchtung von roten Legosteinen mit kontinuierlichem Licht. Rechtes oberes Bild, Spektrum der verwendeten Halogenlampe, rechtes unteres Bild, reflektiertes Licht bzw. Spektrum

Fehlen bei künstlichem Licht einige Wellenlängen aus dem Bereich von 380 nm bis 780 nm, so können die Gegenstände auch nicht in den gewohnten Farben erscheinen, das Erscheinungsbild wird verfälscht wahrgenommen.

In Bild 2.6 fehlt beim einfallenden Spektrum die grüne Spektralfarbe. Entsprechend wird diese Farbe bzw. Spektrallinie von der grünen Kiste nicht reflektiert, was zur Folge hat, dass die Box unter dieser speziellen Anstrahlung schwarz wirkt.

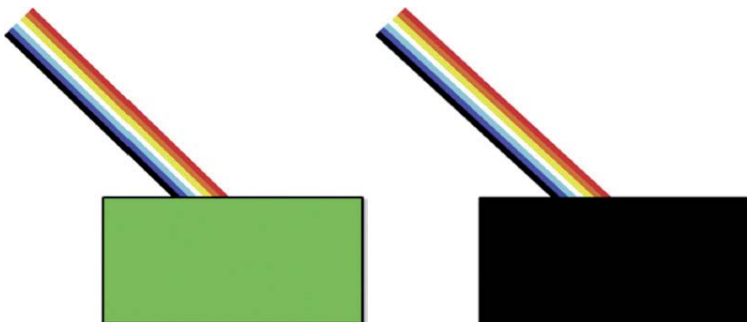


Bild 2.6 Links: einfallendes Licht auf eine grüne Box, wobei bei dem Spektrum die grüne Spektralfarbe fehlt, rechts: Die Box wirkt dadurch schwarz

■ 2.6 Schwarzer Strahler und Farbtemperatur

Grundlage für die Bestimmung der Farbe einer Lichtquelle bzw. der Farbtemperatur ist der Planck'sche Strahler, auch Schwarzer Strahler genannt. Der Planck'sche Strahler dient zur Untersuchung von Lichtemissionen von erhitzten Körpern und ist Grundlage der meisten Lichtquellen. Der Schwarze Strahler lässt sich durch einen Kunstgriff verwirklichen, siehe Bild 2.7.

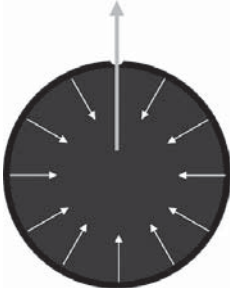


Bild 2.7

Schematische Darstellung eines Planck'schen Strahlers

Der schwarze Hohlraum eines Körpers absorbiert im Prinzip alles Licht, das durch eine Öffnung einfällt, die klein ist im Verhältnis zum Durchmesser des Hohlraumes ($1/60$). Trotzdem tritt ein sehr geringer Teil des Lichtes wieder aus der Öffnung heraus, der gemessen bzw. bewertet werden kann.

Wird nun dieser Körper zum Glühen gebracht, so kann man das durch die Öffnung austretende Licht bzw. seine Farbigkeit mit der Temperatur des erhitzten Strahlers korrelieren (Farbigkeit = Temperatur). Bei niedrigen Temperaturen hat man das Gefühl, dass dieser Körper alles Licht „schluckt“. Erst ab Temperaturen von ca. 800 °C bzw. 1073 Kelvin beginnt dieser Strahler leicht rötlich zu glühen.

2.6.1 Farbtemperatur bzw. ähnlichste Farbtemperatur

Um Licht von verschiedenen Lichtquellen zu charakterisieren und dabei das unterschiedlich farbige Aussehen eindeutig zu definieren, werden Lichtquellen durch den Begriff der Farbtemperatur gekennzeichnet, anstatt farbaussagende Begriffe wie rötlich, bläulich etc. zu verwenden. Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben. Die Kelvin-Temperaturskala beginnt beim absoluten Nullpunkt, der tiefsten Temperatur, die es gibt (-273 °C).

Wenn ein sogenannter „Schwarzer Körper“ langsam erhitzt wird, durchläuft sein Aussehen eine Farbskala von Dunkelrot, Rot, Orange, Gelb, Weiß, bis hin zu Hellblau. Je höher die Temperatur ist, umso weißer wird die Farbe, die aus der Öffnung des Schwarzen Körpers austritt. Die ähnlichste Farbtemperatur entspricht der Temperatur, in Kelvin angegeben, die ein Schwarzer Körper haben würde, wenn seine Farbe der zu betrachtenden Lichtquelle am ähnlichsten ist.

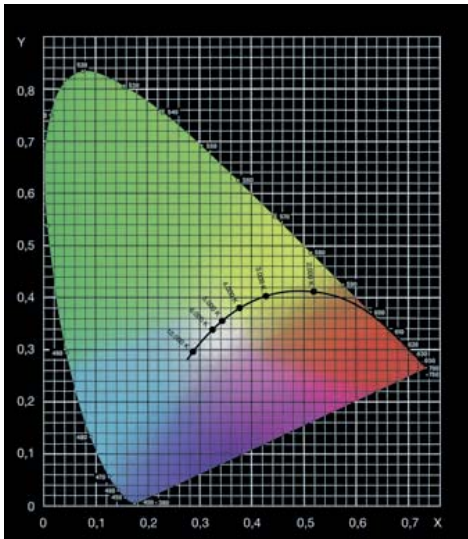


Bild 2.8 Verlauf der Farbtemperatur im CIE xy-Farbraum

Die ähnlichste Farbtemperatur T_n eines zu kennzeichnenden Strahlers ist diejenige Temperatur des Schwarzen Strahlers, bei der dessen Farbort dem zu kennzeichnenden Strahler am nächsten kommt. Der Farbort des zu kennzeichnenden Strahlers liegt in diesem Fall nur in der Nähe des Kurvenzuges (Details siehe Kapitel 6 „Farbmetrische Grundlagen“) für den Schwarzen Strahler.

Eine Glühlampe mit 40 W Leistung besitzt z. B. eine Farbtemperatur von 2650 K. Ein Halogenbrenner, wie er typischerweise in Scheinwerfern für den Fernseh- und Filmbereich eingesetzt wird, besitzt eine Farbtemperatur von 3200 K. Man kann vereinfacht sagen, je geringer der Kelvinwert ist, umso rötlicher erscheint die Lichtquelle. Steigt die Farbtemperatur, so erscheint die Lichtfarbe immer bläulicher (siehe Bild 2.9).



Bild 2.9 Verschiedene Lichtfarben in einem Farbarmaturkasten: linker Kasten 6500 K (Tageslichtweiß), rechter Kasten 2700 K (Warmweiß)

Tabelle 2.2 Auflistung verschiedener Farbtemperaturen

Farbtemperaturen	
Kerzenlicht	1850 K
Glühlampe 40 W	2650 K
Normlicht A	2855,4 K
Halogenglühlampe	3200 K
Normlicht D65, Fernsehbildweiß (Europa)	6504 K
Tageslicht bei bedecktem Himmel	6700 – 7000 K
blauer Himmel ohne direkte Sonne	12 000 – 30 000 K

Zur Charakterisierung der Lichtfarbe bei Leuchtstofflampen wurden drei Bereiche festgelegt:

- ww: warmweiße Lichtfarbe, Farbtemperatur kleiner als 3300 K,
- nw: neutralweiße Lichtfarbe, Farbtemperatur 3300 K bis 5000 K,
- tw: tageslichtweiße Lichtfarbe, Farbtemperatur größer als 5000 K.

Es gibt eine Vielzahl von Leuchtstofflampentypen, die sich z. B. in Farbwiedergabe und Lichtfarbe unterscheiden. Die einzelnen Lampenhersteller haben je nach Ausführung und Zusammensetzung ihre eigenen Bezeichnungen. Die „de luxe“-Lichtfarben z. B. besitzen eine besonders gute Farbwiedergabeeigenschaft, allerdings auf Kosten einer geringeren Lichtausbeute. Die Lichtfarbe einer Lampe sagt jedoch nur etwas über das farbliche Aussehen der Lampe aus, nicht aber über die Farbwiedergabeeigenschaften der Lichtquelle.

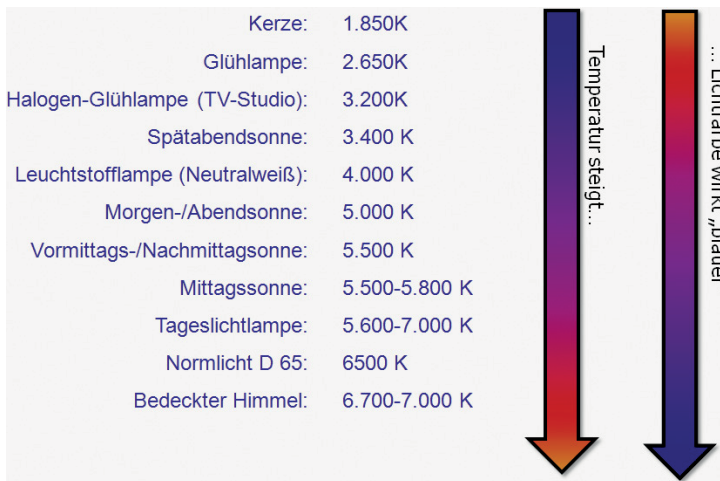


Bild 2.10 Schematische Darstellung der Farbtemperaturwerte und der Farberscheinung

2.6.2 Normlichtarten

Unter Normlicht versteht man Lichtarten, die für die bevorzugte Verwendung in der nationalen und internationalen Norm empfohlen werden können. Die nachstehend genannten Normlichtarten sind wie folgt festgelegt:

- **Normlichtart A:** entsprechend der Strahlung des Schwarzen Körpers bei $T_n = 2855,4 \text{ K}$ für Glühlampen.
- **Normlichtart C:** entsprechend dem Tageslicht mit der „ähnlichsten Farbtemperatur“ von $T_n = 6774 \text{ K}$ für künstliches Tageslicht im spektralen Bereich (Sonnenlicht und Himmelslicht).
- **Normlichtart D 65:** entsprechend dem Tageslicht mit der „ähnlichsten Farbtemperatur“ $T_n = 6504 \text{ K}$ für natürliches Tageslicht (Tageslicht mit UV-Anteil).

Diese Leseprobe haben Sie beim
 edv-buchversand.de heruntergeladen.
 Das Buch können Sie online in unserem
 Shop bestellen.
[Hier zum Shop](#)