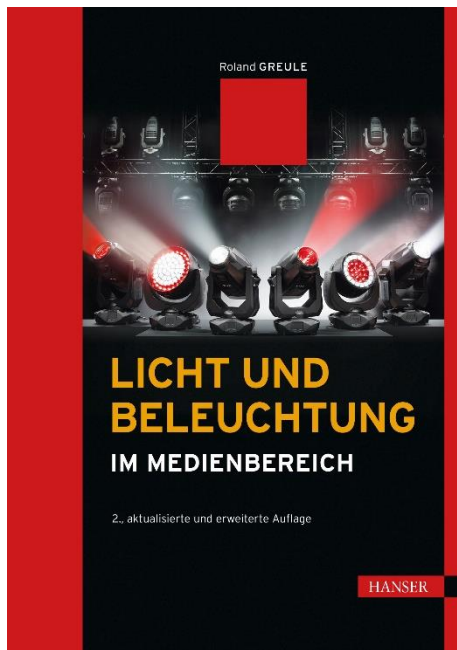


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Licht und Beleuchtung im Medienbereich

von Roland Greule

Print-ISBN 978-3-446-46865-8

E-Book-ISBN 978-3-446-46866-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446468658>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Widmung

Ich widme dieses Buch meinen Eltern, Hedwig und Georg Greule.

Mit der zweiten Auflage geht eine zusätzliche Widmung an meine Schwiegermutter Helene Eckert, die dem Lichtlabor der HAW-HH das immer und überall präsente „Lichtschwein“ geschenkt hat, das bei allen Veranstaltungen der Lichtlabors immer dabei ist und allen Glück bringt.



# Inhalt

|                                                                |              |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Widmung</b> .....                                           | <b>V</b>     |
| <b>Vorwort</b> .....                                           | <b>XXIII</b> |
| <b>Die Autoren</b> .....                                       | <b>XXV</b>   |
| <b>1 Einführung</b> .....                                      | <b>1</b>     |
| <b>2 Licht und Strahlung</b> .....                             | <b>3</b>     |
| 2.1 Strahlungsphysik und Fotometrie .....                      | 3            |
| 2.2 Strahlung und Spektrum .....                               | 4            |
| 2.2.1 Sichtbare Strahlung .....                                | 4            |
| 2.2.2 UV-Strahlung .....                                       | 5            |
| 2.2.3 IR-Strahlung .....                                       | 5            |
| 2.3 Physikalische Größen .....                                 | 6            |
| 2.3.1 Strahlungsfluss $\Phi_e$ .....                           | 6            |
| 2.3.2 Strahlstärke $I_e$ .....                                 | 6            |
| 2.3.3 Bestrahlungsstärke $E_e$ .....                           | 6            |
| 2.3.4 Strahldichte $L_e$ .....                                 | 7            |
| 2.3.5 Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen ..... | 7            |
| 2.4 Licht- und Emissionsspektren .....                         | 7            |
| 2.4.1 Kontinuierliches Spektrum .....                          | 8            |
| 2.4.2 Linienspektrum .....                                     | 8            |
| 2.5 Weißes und farbiges Licht .....                            | 9            |
| 2.5.1 Farbiges Licht .....                                     | 9            |
| 2.5.2 Körperfarben .....                                       | 10           |

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6      | Schwarzer Strahler und Farbtemperatur .....                       | 11        |
| 2.6.1    | Farbtemperatur bzw. ähnlichste Farbtemperatur .....               | 11        |
| 2.6.2    | Normlichtarten .....                                              | 14        |
| <b>3</b> | <b>Lichttechnische Grundgrößen .....</b>                          | <b>15</b> |
| 3.1      | Spektrale Hellempfindlichkeit .....                               | 16        |
| 3.1.1    | Messaufbau .....                                                  | 16        |
| 3.1.2    | Relative Hellempfindlichkeit bei Tagessehen .....                 | 17        |
| 3.2      | Lichtstrom $\Phi$ .....                                           | 18        |
| 3.2.1    | Hellempfindlichkeit bei photopischem Sehen .....                  | 19        |
| 3.2.2    | Hellempfindlichkeit bei skotopischem Sehen .....                  | 20        |
| 3.3      | Lichtausbeute $\eta$ .....                                        | 20        |
| 3.4      | Lichtstärke I .....                                               | 21        |
| 3.4.1    | Raumwinkel $\Omega$ .....                                         | 22        |
| 3.4.2    | Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) .....                           | 23        |
| 3.4.3    | Lichtstärkeverteilungskurve eines Stufenlinsenscheinwerfers ..... | 24        |
| 3.5      | Beleuchtungsstärke E .....                                        | 25        |
| 3.5.1    | Schräger Lichteinfall .....                                       | 26        |
| 3.5.2    | Fotometrisches Entfernungsgesetz .....                            | 27        |
| 3.6      | Belichtung H .....                                                | 29        |
| 3.7      | Leuchtdichte L .....                                              | 29        |
| 3.8      | Stoffkennzahlen .....                                             | 31        |
| 3.8.1    | Reflexionsgrad .....                                              | 31        |
| 3.8.1.1  | Diffuse Reflexion .....                                           | 31        |
| 3.8.1.2  | Gerichtete Reflexion .....                                        | 32        |
| 3.8.1.3  | Gemischte Reflexion .....                                         | 33        |
| 3.8.2    | Transmissionsgrad .....                                           | 34        |
| 3.8.3    | Absorptionsgrad .....                                             | 35        |
| 3.8.4    | Halbstreuwinkel .....                                             | 35        |
| 3.9      | Übungsbeispiele .....                                             | 36        |

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>Kontrast und Helligkeit</b>                 | <b>39</b> |
| 4.1      | Kontrast                                       | 39        |
| 4.1.1    | Physiologischer Kontrast                       | 39        |
| 4.1.2    | Helligkeitsdetektion C                         | 40        |
| 4.2      | Kontrastdefinition im Film- und Fernsehbereich | 41        |
| 4.2.1    | Objektkontrast                                 | 41        |
| 4.2.2    | Lichtkontrast                                  | 42        |
| 4.2.3    | Szenenkontrast                                 | 42        |
| 4.2.4    | Kontrastumfang und Blendenstufen               | 43        |
| 4.3      | Ratio                                          | 44        |
| 4.4      | Helligkeit und Helligkeitsmodelle              | 45        |
| 4.4.1    | Helligkeitsmodelle                             | 46        |
| 4.4.2    | Helligkeitsmodell CIE-L*                       | 48        |
| 4.5      | Übungsbeispiele                                | 48        |
| <b>5</b> | <b>Auge und Wahrnehmung</b>                    | <b>49</b> |
| 5.1      | Physiologie des Sehens                         | 49        |
| 5.1.1    | Optisches System des Auges                     | 49        |
| 5.1.2    | Netzhaut                                       | 50        |
| 5.1.3    | Fovea Centralis                                | 52        |
| 5.1.4    | Sehnerv                                        | 53        |
| 5.1.5    | Gesichtsfeld und Sehschärfe                    | 53        |
| 5.2      | Nicht-visuelle Wirkung von Licht               | 55        |
| 5.3      | Farbrezeptoren und Farbwahrnehmung             | 59        |
| 5.3.1    | Dreifarbentheorie                              | 59        |
| 5.3.2    | SML-Zapfen                                     | 60        |
| 5.3.3    | Gegenfarbentheorie nach Hering                 | 61        |
| 5.3.4    | Zonentheorie                                   | 61        |
| 5.3.5    | Tag- und Nachtsehen                            | 62        |
| 5.3.6    | Verteilung der Rezeptoren                      | 63        |
| 5.4      | Grundlagen der Wahrnehmung                     | 63        |
| 5.4.1    | Fixation und Saccaden                          | 64        |
| 5.4.2    | Sehschärfe                                     | 66        |

|          |                                                          |           |
|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.3    | Akkommodation .....                                      | 67        |
| 5.4.4    | Adaptation .....                                         | 67        |
| 5.5      | Konstanzwahrnehmung .....                                | 68        |
| 5.5.1    | Helligkeitskonstanz .....                                | 69        |
| 5.5.2    | Farbkonstanz .....                                       | 69        |
| 5.5.2.1  | Chromatische Adaptation .....                            | 70        |
| 5.5.2.2  | Stevens-und-Hunt-Effekt .....                            | 70        |
| 5.6      | UV-, IR- und Blaulichtgefährdung für Auge und Haut ..... | 70        |
| <b>6</b> | <b>Farbmetrische Grundlagen .....</b>                    | <b>77</b> |
| 6.1      | Farbmetrische Grundgrößen .....                          | 77        |
| 6.1.1    | Farbreizfunktion .....                                   | 78        |
| 6.1.2    | Farbempfindung .....                                     | 78        |
| 6.1.3    | Farbvalenz .....                                         | 78        |
| 6.1.4    | Helligkeit .....                                         | 79        |
| 6.1.5    | Farbton (Buntton) .....                                  | 79        |
| 6.1.6    | Sättigung (Buntheit) .....                               | 79        |
| 6.1.7    | Farbmischung .....                                       | 80        |
| 6.1.8    | Niedrige und höhere Farbmetrik .....                     | 80        |
| 6.2      | Historische Entwicklung der Farbmetrik .....             | 81        |
| 6.2.1    | Farbkreis .....                                          | 81        |
| 6.2.2    | Dreidimensionale Farbsysteme .....                       | 82        |
| 6.2.3    | Farbordnungssysteme .....                                | 83        |
| 6.3      | Farbräume .....                                          | 83        |
| 6.3.1    | RGB-Farbraum .....                                       | 84        |
| 6.3.2    | CIE-XYZ-Farbraum .....                                   | 85        |
| 6.3.3    | Farbtafel .....                                          | 88        |
| 6.3.4    | CIE-UCS-Farbtafel .....                                  | 89        |
| 6.3.5    | CIE-L*u*v* .....                                         | 91        |
| 6.3.6    | CIE-L*a*b* .....                                         | 92        |
| 6.3.7    | Farbabstandsformeln .....                                | 92        |
| 6.3.8    | CIECAM02 .....                                           | 94        |
| 6.3.9    | Rec2020/BT.2020 .....                                    | 95        |

|          |                                                            |            |
|----------|------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4      | Additive und subtraktive Farbmischung .....                | 96         |
| 6.4.1    | Additive Farbmischung .....                                | 96         |
| 6.4.2    | Subtraktive Farbmischung .....                             | 97         |
| 6.5      | Farbwiedergabefaktoren und Farbwiedergabeindex .....       | 98         |
| 6.5.1    | Farbwiedergabefaktor $R_a$ .....                           | 98         |
| 6.5.2    | CQS .....                                                  | 99         |
| 6.5.3    | TM 30-15 .....                                             | 100        |
| 6.5.4    | TLCI-2012 .....                                            | 102        |
| 6.6      | Farbfolien, Farbgläser und Konvertierungsfolien .....      | 103        |
| 6.6.1    | Farbfolien .....                                           | 103        |
| 6.6.2    | Farbgläser .....                                           | 104        |
| 6.6.3    | Konversionsfolien, Neutralfilter und Korrekturfilter ..... | 106        |
| 6.6.4    | MIRED .....                                                | 106        |
| 6.6.5    | Mired Shift Value .....                                    | 106        |
| 6.7      | Übungsbeispiele .....                                      | 107        |
| <b>7</b> | <b>Licht- und Farbmessstechnik .....</b>                   | <b>109</b> |
| 7.1      | Visuelle Fotometrie .....                                  | 109        |
| 7.2      | Physikalische Fotometrie .....                             | 110        |
| 7.2.1    | Beleuchtungsstärkemesser .....                             | 110        |
| 7.2.2    | Leuchtdichtemesser .....                                   | 112        |
| 7.2.3    | Messung von Lichtstärke-Verteilungs-Kurven .....           | 114        |
| 7.2.4    | Ulbrichtkugel (U-Kugel) .....                              | 114        |
| 7.2.5    | Spektrale Fotometrie .....                                 | 116        |
| 7.3      | Belichtungsmessung .....                                   | 116        |
| 7.3.1    | Belichtung .....                                           | 116        |
| 7.3.2    | Belichtungsmesser .....                                    | 116        |
| 7.3.3    | Spotmeter .....                                            | 117        |
| 7.4      | Farbmessung .....                                          | 117        |
| 7.4.1    | Gleichheitsverfahren .....                                 | 118        |
| 7.4.2    | Licht- und Körperfarben .....                              | 118        |
| 7.4.2.1  | Spektraler Reflexionsgrad $\beta(\lambda)$ .....           | 119        |
| 7.4.2.2  | Farbvalenz von Körperfarben .....                          | 119        |

|          |                                                                          |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.4.3    | Dreibereichsverfahren .....                                              | 119        |
| 7.4.4    | Spektralverfahren .....                                                  | 120        |
| 7.5      | Messgeometrien .....                                                     | 123        |
| 7.5.1    | Messgeometrie $45^\circ/0^\circ$ .....                                   | 123        |
| 7.5.2    | Messgeometrie diffus $d/0^\circ$ .....                                   | 123        |
| 7.5.3    | Messgeometrie diffus $d/8^\circ$ .....                                   | 123        |
| 7.6      | Übungsbeispiele .....                                                    | 124        |
| <b>8</b> | <b>Lichtquellen .....</b>                                                | <b>125</b> |
| 8.1      | Aufbau und Wirkungsweise .....                                           | 126        |
| 8.2      | Lebensdauer und Lampenalterung .....                                     | 126        |
| 8.3      | Glüh- und Halogenlampen .....                                            | 127        |
| 8.3.1    | Die Glühlampe: Historie, Aufbau und Wirkungsprinzip .....                | 127        |
| 8.3.2    | Temperaturstrahlung .....                                                | 128        |
| 8.3.3    | Aufbau und Wirkprinzip der Halogenlampe .....                            | 129        |
| 8.3.4    | Halogenlampen im Fernseh-, Film- und Theaterbereich .....                | 131        |
| 8.4      | Niederdruckentladungslampen .....                                        | 131        |
| 8.5      | Hochdruckentladungslampen .....                                          | 134        |
| 8.5.1    | Hochdruck-Metallhalogendampflampen .....                                 | 134        |
| 8.5.2    | Hochdruckentladungslampen im Fernseh-, Film-<br>und Theaterbereich ..... | 136        |
| 8.6      | Lichtemittierende Dioden (LED) .....                                     | 136        |
| 8.6.1    | Elektrolumineszenz .....                                                 | 136        |
| 8.6.2    | Lichterzeugung im III-V-Halbleiter .....                                 | 137        |
| 8.6.3    | LED-Technologie .....                                                    | 138        |
| 8.6.4    | Aufbau und Wirkungsgrad von LED-Lichtquellen .....                       | 139        |
| 8.6.5    | Binning .....                                                            | 141        |
| 8.6.6    | LED-Produkte und Applikationsfelder .....                                | 142        |
| 8.6.7    | Einzel-LEDs und LED-Engines in Movinglights .....                        | 144        |
| 8.7      | Organische lichtemittierende Dioden (OLED) .....                         | 147        |
| 8.7.1    | Funktionsprinzip von OLED .....                                          | 147        |
| 8.7.2    | OLED-Display .....                                                       | 148        |

|           |                                                                     |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9</b>  | <b>Scheinwerfer</b>                                                 | <b>151</b> |
| 9.1       | Konventionelle Scheinwerfer                                         | 152        |
| 9.1.1     | Fluter und Rampen                                                   | 152        |
| 9.1.2     | Blinder                                                             | 154        |
| 9.1.3     | Parabolspiegel-Scheinwerfer                                         | 155        |
| 9.1.4     | Stufenlinsen-Scheinwerfer                                           | 157        |
| 9.1.5     | Profil-Scheinwerfer                                                 | 159        |
| 9.1.6     | Stroboskope                                                         | 161        |
| 9.1.7     | Zubehör                                                             | 161        |
| 9.2       | Movinglights                                                        | 162        |
| 9.2.1     | Scanner                                                             | 162        |
| 9.2.2     | Spot-/Profile-Movinghead                                            | 163        |
| 9.2.3     | Wash-Movinghead                                                     | 165        |
| 9.2.4     | Beam-Movingheads                                                    | 167        |
| 9.2.5     | Movinglights im Outdoorbereich                                      | 167        |
| 9.3       | Hybridscheinwerfer, komplexe Pixelsysteme und kreative Scheinwerfer | 168        |
| <b>10</b> | <b>Lichtsteuerung und Lichtstellpulte</b>                           | <b>171</b> |
| 10.1      | Entwicklung der Lichtsteuerung                                      | 172        |
| 10.1.1    | Analoge Steuertechnik                                               | 174        |
| 10.1.2    | Analoges Multiplexing                                               | 174        |
| 10.1.3    | Digitales Multiplexing                                              | 174        |
| 10.1.4    | DMX-512                                                             | 175        |
| 10.1.5    | DMX-512A                                                            | 179        |
| 10.1.6    | DMX-512 RDM (Remote Device Management)                              | 179        |
| 10.1.7    | Drahtloses DMX                                                      | 179        |
| 10.2      | Lichtnetzwerke                                                      | 180        |
| 10.2.1    | Ethernet                                                            | 181        |
| 10.2.1.1  | Aufbau eines Ethernet-Netzwerkes (Topologie)                        | 182        |
| 10.2.1.2  | Netzwerkkomponenten                                                 | 182        |
| 10.2.2    | Proprietäre Herstellerprotokolle                                    | 183        |
| 10.2.3    | ArtNet                                                              | 183        |

|           |                                               |            |
|-----------|-----------------------------------------------|------------|
| 10.2.4    | ACN (Architecture for Control Networks) ..... | 184        |
| 10.2.5    | Klingnet .....                                | 185        |
| 10.2.6    | Weitere verbreitete Protokolle .....          | 185        |
| 10.3      | Lichtstellpulte .....                         | 186        |
| 10.3.1    | Komponenten von Lichtstellpulten .....        | 188        |
| 10.3.2    | Arbeitsweisen .....                           | 188        |
| <b>11</b> | <b>Digital Lighting .....</b>                 | <b>191</b> |
| 11.1      | LED-Wände .....                               | 192        |
| 11.1.1    | Grundlagen .....                              | 192        |
| 11.1.2    | Auflösung und Farbe .....                     | 193        |
| 11.1.3    | Helligkeit .....                              | 194        |
| 11.1.4    | Pixelpitch .....                              | 194        |
| 11.2      | Projektionen .....                            | 195        |
| 11.2.1    | Projektoren .....                             | 196        |
| 11.2.2    | Technische Grundlagen .....                   | 196        |
| 11.2.2.1  | Geometrie und Entzerrung .....                | 196        |
| 11.2.2.2  | Farbe .....                                   | 197        |
| 11.2.2.3  | Helligkeit .....                              | 197        |
| 11.2.2.4  | Auflösung und Format .....                    | 198        |
| 11.3      | Pixelmapping – Pixel und Scheinwerfer .....   | 198        |
| 11.4      | Medienserver .....                            | 200        |
| 11.4.1    | Überblick Grundfunktionen .....               | 201        |
| 11.4.1.1  | Layer .....                                   | 202        |
| 11.4.1.2  | Content .....                                 | 203        |
| 11.4.1.3  | Texturen und Manipulation .....               | 203        |
| 11.4.1.4  | Ebenen .....                                  | 203        |
| 11.4.1.5  | Ausgabe .....                                 | 204        |
| 11.4.1.6  | Virtuelle Kamera und 3D-Raum .....            | 205        |
| 11.4.1.7  | Erweiterte Funktionen .....                   | 205        |
| 11.4.1.8  | Zeitbasis .....                               | 206        |
| 11.4.1.9  | Steuerung und Ansteuerung .....               | 206        |
| 11.4.1.10 | Integrierte Benutzeroberflächen .....         | 207        |

|           |                                                                 |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 11.4.1.11 | Bedienung durch Lichtstellpulte .....                           | 208        |
| 11.4.1.12 | Manager-Anwendung und Timeline .....                            | 209        |
| 11.4.2    | Signale und Schnittstellen .....                                | 211        |
| 11.4.2.1  | Ansteuerung und Synchronisation .....                           | 211        |
| 11.4.2.2  | Bildschnittstellen .....                                        | 211        |
| 11.4.2.3  | Sonstige Schnittstellen .....                                   | 212        |
| 11.5      | Berufsfeld „Digital Lighting“ .....                             | 213        |
| <b>12</b> | <b>Lichtführung .....</b>                                       | <b>217</b> |
| 12.1      | Licht und Schatten .....                                        | 218        |
| 12.2      | Lichteinfall und Schattenwirkung .....                          | 219        |
| 12.2.1    | Gerichtetes Licht .....                                         | 220        |
| 12.2.2    | Kernschatten (Zentralschatten, Schlagschatten, Umbra) .....     | 221        |
| 12.2.3    | Halbschatten (Penumbra) .....                                   | 221        |
| 12.2.4    | Harter bzw. weicher Schatten .....                              | 221        |
| 12.2.5    | Licht zur Orientierung .....                                    | 222        |
| 12.3      | Ausleuchtung von Personen (Personenlicht) nach McCandless ..... | 223        |
| 12.4      | Lichtrichtungen .....                                           | 225        |
| 12.4.1    | Vorderlicht .....                                               | 226        |
| 12.4.2    | Seitliches Vorderlicht .....                                    | 226        |
| 12.4.3    | Oberlicht .....                                                 | 226        |
| 12.4.4    | Kopflicht (Toplight) .....                                      | 227        |
| 12.4.5    | Hinterlicht bzw. Gegenlicht .....                               | 227        |
| 12.4.6    | Seitenlicht .....                                               | 228        |
| 12.4.7    | Gassenlicht .....                                               | 229        |
| 12.4.8    | Rampenlicht, Unterlicht, Fußlicht .....                         | 229        |
| 12.4.9    | Horizont- bzw. Hintergrundlicht .....                           | 229        |
| 12.5      | Lichtgestaltung für Fernsehkameras .....                        | 230        |
| 12.5.1    | Lichtrichtungen im Fernsehbereich .....                         | 230        |
| 12.5.2    | Personenausleuchtung im Fernsehbereich .....                    | 231        |
| 12.5.2.1  | Einpunkt-Ausleuchtung .....                                     | 232        |
| 12.5.2.2  | Zweipunkt-Ausleuchtung .....                                    | 232        |
| 12.5.2.3  | Dreipunkt-Ausleuchtung .....                                    | 232        |

|           |                                                              |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 12.5.2.4  | Vierpunkt-Ausleuchtung .....                                 | 233        |
| 12.5.2.5  | Personenbeleuchtung bei Green-/Blue-Box-<br>Anwendung .....  | 233        |
| 12.5.2.6  | Personenbeleuchtung bei der Tagesschau .....                 | 234        |
| 12.6      | Lichtsetzung im Film .....                                   | 234        |
| 12.6.1    | Fotografische Stile .....                                    | 234        |
| 12.6.2    | Normal-Stil .....                                            | 235        |
| 12.6.3    | Low-Key-Stil .....                                           | 235        |
| 12.6.3.1  | Unausgeglichener Low-Key .....                               | 236        |
| 12.6.3.2  | Aufgehellter Low-Key .....                                   | 236        |
| 12.6.4    | High-Key-Stil .....                                          | 236        |
| 12.6.5    | Grundregeln der Lichtführung .....                           | 236        |
| <b>13</b> | <b>Lichtgestaltung und Lichtdesign .....</b>                 | <b>239</b> |
| 13.1      | Kurzer historischer Überblick .....                          | 240        |
| 13.2      | Grundregeln der Lichtgestaltung bzw. des Lichtdesigns .....  | 242        |
| 13.3      | Lichtinszenierung nach McCandless .....                      | 243        |
| 13.3.1    | Qualitäten des Lichts .....                                  | 243        |
| 13.3.2    | Funktionen des Lichts .....                                  | 244        |
| 13.3.3    | Theorie nach Richard Pilbrow .....                           | 245        |
| 13.4      | Erzeugung eines Looks .....                                  | 246        |
| 13.4.1    | Dramaturgieverlauf zur Erzeugung von Emotionen .....         | 246        |
| 13.4.1.1  | Dramaturgie .....                                            | 249        |
| 13.4.1.2  | Ästhetik .....                                               | 249        |
| 13.4.1.3  | Bühnenraum bzw. -design .....                                | 249        |
| 13.4.1.4  | Video-Content .....                                          | 249        |
| 13.4.2    | Gestaltungsregeln .....                                      | 249        |
| 13.4.3    | Anordnung der Scheinwerfer .....                             | 250        |
| 13.4.4    | Grundlagen Farbkonzept .....                                 | 252        |
| 13.5      | Bühnenbeispiele .....                                        | 253        |
| 13.5.1    | Kleine Bühne .....                                           | 253        |
| 13.5.2    | Mittlere Bühne .....                                         | 255        |
| 13.5.3    | Große Bühne .....                                            | 256        |
| 13.5.4    | Beispiel: Eurovision Song Contest 2012 in Baku – große Bühne | 257        |

|           |                                            |            |
|-----------|--------------------------------------------|------------|
| <b>14</b> | <b>Theater-Licht</b>                       | <b>259</b> |
| 14.1      | Kurzer historischer Überblick              | 260        |
| 14.2      | Verantwortliche                            | 262        |
| 14.3      | Scheinwerfer und Standorte                 | 263        |
| 14.3.1    | Scheinwerfertypen                          | 263        |
| 14.3.2    | Standorte der Beleuchtungseinrichtungen    | 264        |
| 14.4      | Lichtkonzeption und Produktion             | 265        |
| 14.4.1    | Planung                                    | 266        |
| 14.4.2    | Produktionsablauf                          | 267        |
| 14.4.3    | Beleuchtungsproben                         | 268        |
| 14.5      | Bühne und Bühnenformen                     | 268        |
| 14.6      | Bühnen- und Lichtstile im Theater          | 269        |
| 14.7      | Sprech-, Musik- und Tanztheater            | 270        |
| 14.7.1    | Sprechtheater                              | 270        |
| 14.7.2    | Musiktheater                               | 271        |
| 14.7.2.1  | Musical                                    | 271        |
| 14.7.2.2  | Oper                                       | 271        |
| 14.7.3    | Tanztheater                                | 272        |
| 14.8      | Verständnisfragen                          | 273        |
| <b>15</b> | <b>Fernseh-Licht</b>                       | <b>275</b> |
| 15.1      | Studios                                    | 275        |
| 15.1.1    | Aufsager- oder Schaltenstudio              | 275        |
| 15.1.2    | Nachrichten-, Magazin- oder Spartenstudio  | 276        |
| 15.1.3    | LED-Wand-Studio                            | 278        |
| 15.1.4    | Multifunktionsstudio                       | 278        |
| 15.1.5    | Show-Studio/-Atelier                       | 279        |
| 15.1.6    | Streaming-Studio                           | 280        |
| 15.2      | Sendungsgenre                              | 281        |
| 15.3      | An der Lichtgestaltung beteiligte Personen | 282        |
| 15.3.1    | Regie                                      | 282        |
| 15.3.2    | Setdesign                                  | 282        |
| 15.3.3    | Lichtdesign                                | 282        |
| 15.3.4    | Kameramann                                 | 283        |

|          |                                                                             |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.3.5   | Beleuchtungsmeister/lichtsetzender Kameramann .....                         | 283 |
| 15.3.6   | Lichtpult-Operator .....                                                    | 283 |
| 15.3.7   | Oberbeleuchter/Beleuchter .....                                             | 283 |
| 15.3.8   | Bildingenieur .....                                                         | 284 |
| 15.3.9   | Maske .....                                                                 | 284 |
| 15.3.10  | Kostüm .....                                                                | 284 |
| 15.3.11  | Protagonisten .....                                                         | 284 |
| 15.4     | Eingesetzte Scheinwerfer .....                                              | 285 |
| 15.4.1   | Fresnel-Scheinwerfer .....                                                  | 285 |
| 15.4.2   | Weitere Scheinwerfer im Fernsehstudio .....                                 | 286 |
| 15.5     | Fernsehsystem .....                                                         | 287 |
| 15.5.1   | Die Fernsehübertragungskette .....                                          | 287 |
| 15.5.2   | High Dynamic Range und Wide Colour Gamut .....                              | 288 |
| 15.5.3   | Display und Bildbeurteilung .....                                           | 289 |
| 15.5.4   | Kamera und Objektiv .....                                                   | 290 |
| 15.5.4.1 | Objektiv .....                                                              | 290 |
| 15.5.4.2 | Lichtempfindlichkeit, Arbeitsblende und<br>Lichtniveau der Produktion ..... | 291 |
| 15.5.4.3 | Weißabgleich .....                                                          | 292 |
| 15.6     | Fernseh-Licht .....                                                         | 293 |
| 15.6.1   | Lichtkonzepte .....                                                         | 293 |
| 15.6.1.1 | Punktuelles Licht .....                                                     | 293 |
| 15.6.1.2 | Flächiges Licht .....                                                       | 295 |
| 15.6.2   | Ausleuchtung mehrerer Personen .....                                        | 295 |
| 15.6.3   | Beleuchtung bei Talk-Sendungen im Fernsehen .....                           | 295 |
| 15.6.4   | Beleuchtung von Zuschauern im Fernsehen .....                               | 296 |
| 15.6.5   | Beleuchtung des Sets im Fernsehen .....                                     | 296 |
| 15.7     | Sendeablauf .....                                                           | 297 |
| 15.7.1   | Vor der Sendung .....                                                       | 297 |
| 15.7.2   | Einleuchten .....                                                           | 297 |
| 15.7.3   | Lichtplan .....                                                             | 299 |
| 15.7.4   | Pultkonzept .....                                                           | 299 |
| 15.7.5   | Lichtänderung während der Sendung .....                                     | 300 |

|           |                                                  |            |
|-----------|--------------------------------------------------|------------|
| 15.7.6    | Lichtwechsel .....                               | 301        |
| 15.7.7    | Sendung .....                                    | 301        |
| <b>16</b> | <b>Film-Licht .....</b>                          | <b>303</b> |
| 16.1      | Kurzer historischer Überblick .....              | 303        |
| 16.2      | Filmempfindlichkeit .....                        | 304        |
| 16.2.1    | Belichtung .....                                 | 305        |
| 16.2.2    | Dichtewert D .....                               | 305        |
| 16.2.3    | Gradation .....                                  | 305        |
| 16.2.4    | Lichtempfindlichkeit (ISO - DIN/ASA) .....       | 306        |
| 16.2.5    | Kontrastumfang beim Filmmaterial .....           | 307        |
| 16.2.6    | Lichtempfindlichkeit digitaler Filmkameras ..... | 307        |
| 16.2.7    | Schärfentiefe versus Tiefenschärfe .....         | 308        |
| 16.3      | Personen .....                                   | 310        |
| 16.4      | Messtechnik .....                                | 311        |
| 16.5      | Eingesetzte Scheinwerfer .....                   | 311        |
| 16.5.1    | Fresnel- und HMI-Scheinwerfer .....              | 312        |
| 16.5.2    | Dedo-Light .....                                 | 313        |
| 16.5.3    | Weichstrahlende Scheinwerfer .....               | 314        |
| 16.5.3.1  | Kino-Flo .....                                   | 314        |
| 16.5.3.2  | Chimera .....                                    | 315        |
| 16.5.4    | Dino Lights .....                                | 316        |
| 16.5.5    | Spacelights .....                                | 316        |
| 16.5.6    | Heliumballon .....                               | 317        |
| 16.5.7    | Butterfly .....                                  | 317        |
| 16.5.8    | Bouncing .....                                   | 318        |
| 16.5.9    | Fahnen/French Flags .....                        | 318        |
| 16.6      | Lichtstile im Filmbereich .....                  | 319        |
| 16.7      | Modelling .....                                  | 320        |
| <b>17</b> | <b>Konzert-Touring-Licht .....</b>               | <b>323</b> |
| 17.1      | Kurzer historischer Überblick .....              | 323        |
| 17.2      | Personen .....                                   | 325        |
| 17.3      | Eingesetzte Scheinwerfer .....                   | 326        |

|           |                                                            |            |
|-----------|------------------------------------------------------------|------------|
| 17.4      | Bühnenformen und Lichtdesign für Konzert-Touring .....     | 327        |
| 17.4.1    | Bühnenformen .....                                         | 327        |
| 17.4.2    | Lichtdesign .....                                          | 328        |
| 17.5      | Lichtkonzeption und Produktion .....                       | 328        |
| 17.5.1    | Entwurfsphase .....                                        | 328        |
| 17.5.2    | Planungsphase .....                                        | 330        |
| 17.5.3    | Probenphase .....                                          | 330        |
| 17.5.4    | Aufbau vor Ort .....                                       | 331        |
| 17.5.5    | Einleuchten/Fokussieren/Presets ziehen .....               | 332        |
| 17.6      | Beispiele .....                                            | 333        |
| 17.6.1    | SEED BAM BAM Tour 2019 .....                               | 333        |
| 17.6.2    | Festival .....                                             | 335        |
| 17.7      | Remote-Verfolger und Tracking-Systeme .....                | 336        |
| 17.7.1    | Remote-Verfolger (halbautomatisches Tracking-System) ..... | 336        |
| 17.7.2    | Vollautomatische Tracking-Systeme .....                    | 338        |
| <b>18</b> | <b>Licht für wirtschaftsbezogene Veranstaltungen .....</b> | <b>341</b> |
| 18.1      | Kurzer historischer Überblick .....                        | 342        |
| 18.2      | Personen .....                                             | 343        |
| 18.3      | Lichtdesign und Lichtfachplanung .....                     | 344        |
| 18.4      | Produktionsprozess .....                                   | 344        |
| 18.4.1    | Entwurfsphase .....                                        | 344        |
| 18.4.2    | Ausführungsphase .....                                     | 345        |
| 18.4.3    | Umsetzungsphase .....                                      | 345        |
| 18.5      | Beispiel Audi-Messestand IAA 2015 .....                    | 346        |
| <b>19</b> | <b>Lichtpläne und Lichtsimulation .....</b>                | <b>349</b> |
| 19.1      | Grundlagen .....                                           | 349        |
| 19.1.1    | Modellbau .....                                            | 350        |
| 19.1.2    | Simulation .....                                           | 351        |
| 19.2      | Lichtpläne .....                                           | 352        |
| 19.3      | Begriffe der Computersimulation .....                      | 355        |
| 19.3.1    | Drahtgittermodell (Wireframe) .....                        | 355        |
| 19.3.2    | Materialbeschreibung .....                                 | 356        |

|           |                                                                                              |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 19.3.3    | Beleuchtung .....                                                                            | 357        |
| 19.3.4    | Rendering .....                                                                              | 357        |
| 19.4      | Rechenalgorithmen .....                                                                      | 358        |
| 19.4.1    | Flat-Shading .....                                                                           | 358        |
| 19.4.2    | Gourand-Shading .....                                                                        | 359        |
| 19.4.3    | Phong-Shading .....                                                                          | 359        |
| 19.4.4    | Radiosity- bzw. Punkt-zu-Punkt-Verfahren .....                                               | 359        |
| 19.4.5    | Raytracing-Verfahren .....                                                                   | 361        |
| 19.5      | Lichts simulationsprogramme .....                                                            | 363        |
| 19.5.1    | Lichtberechnungsprogramm Relux Desktop und DIALuxEvo. ...                                    | 364        |
| 19.5.2    | Echtzeit-Lichts simulationsprogramme .....                                                   | 365        |
| 19.5.3    | Spezielle Programme für den Einsatz im Showbereich .....                                     | 366        |
| 19.5.3.1  | grandMA 3D .....                                                                             | 366        |
| 19.5.3.2  | WYSIWYG Lighting Design .....                                                                | 367        |
| 19.5.3.3  | depen <sup>2</sup> .....                                                                     | 368        |
| 19.5.3.4  | Vectorworks Spotlight .....                                                                  | 368        |
| 19.5.4    | Virtual Reality .....                                                                        | 368        |
| 19.5.4.1  | CAVE (Cave Automatical Virtual Environment) .....                                            | 369        |
| 19.5.4.2  | VR- und MR-Brillen: Oculus Rift, HTC-Vive,<br>Hololens, Google Glass .....                   | 369        |
| 19.5.4.3  | VR-Anwendung von GDTF-Daten und Unity-Engine ...                                             | 371        |
| <b>20</b> | <b>Ausblick: Lichttechnik in der Zukunft .....</b>                                           | <b>373</b> |
| 20.1      | Zusammenwachsen von Eventtechnik und Lichtarchitektur .....                                  | 373        |
| 20.2      | Neue Sende- und Videoformate (Zoom-Meetings,<br>Green-Screen-Studios für Online-Lehre) ..... | 375        |
| 20.3      | Virtual Production .....                                                                     | 377        |
| 20.3.1    | Hybride virtuelle Produktion .....                                                           | 378        |
| 20.3.2    | Live LED Wall In-Camera Virtual Production .....                                             | 378        |
| 20.4      | Augmented Reality und Interaktivität .....                                                   | 380        |
| 20.4.1    | Interaktivität .....                                                                         | 380        |
| 20.4.2    | Einsatz von AR und Interaktivität bei Medienfassaden .....                                   | 381        |
| 20.5      | Cross-Reality(XR)-Plattformen für hybride Eventformate .....                                 | 383        |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 20.5.1 XRchitecture .....                                                                    | 383        |
| 20.5.2 Clubevent und Lichteditor mit XR/VR-Techniken .....                                   | 385        |
| 20.5.3 Nutzungs- und Gestaltungsmöglichkeiten von XR-Techniken<br>im Digitalen Theater ..... | 386        |
| 20.5.4 Ausblick .....                                                                        | 388        |
| 20.6 BIM (Building Information Modelling) .....                                              | 388        |
| 20.7 Fotogrammetrie .....                                                                    | 390        |
| 20.8 Einsatz von KI und neuronalen Netzen im Lichtdesign .....                               | 391        |
| <b>Lösungen der Übungsaufgaben und Verständnisfragen .....</b>                               | <b>393</b> |
| <b>Literatur und weitere Informationsmedien .....</b>                                        | <b>395</b> |
| Literaturverzeichnis .....                                                                   | 395        |
| Fachzeitschriften .....                                                                      | 397        |
| Webadressen (Verbände) .....                                                                 | 398        |
| <b>Bildnachweis .....</b>                                                                    | <b>399</b> |
| <b>Index .....</b>                                                                           | <b>407</b> |

# Vorwort

Das Thema Licht und Beleuchtung begleitet mich seit vielen Jahren im Berufsleben, beginnend mit dem Studium an der TU in Karlsruhe, der praktischen Umsetzung im Berufsalltag als Lichtplaner und Lichtdesigner bis hin zu der wissenschaftlichen Arbeit als Hochschullehrer. Dabei hat das Thema Farbe und die Faszination der Visualisierung von Licht mit Rechenprogrammen bis heute Bestand. Durch die rasante Entwicklung der LEDs und ihre Einsatzmöglichkeiten im Theater-, Fernseh- und Showbereich wird das Thema Licht und Farbe noch faszinierender wie bisher. Lassen Sie sich überraschen.

## Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle dem Hanser Verlag, vor allem meiner Lektorin Frau Werner, für die sehr gute Zusammenarbeit danken. Mein Dank geht auch an den Herausgeber der Reihe, meinem Kollegen Prof. Dr. Ulrich Schmidt.

Ein besonderer Dank geht auch an die Mitautoren Frau Alexandra Ehrlitzer, Herrn Martin Rupprecht, Herrn Fabian Oving und Herrn Dr. Roland Heinz. Vielen Dank für die Unterstützung im Kapitel 15 „Fernseh-Licht“ durch Herrn Matthias Wilkens, sowie seine detaillierten Diskussionen, um dem Buch seine jetzige Form zu geben.

Danke an die Kollegen, die mir Bilder bzw. Grafiken zur Verfügung gestellt haben (Herbert Bernstädt, Markus Beug-Rapp, Marc Briede, Michael Feldmann, Carsten Grigo, Lutz Hassenstein, Markus Hegi, Berthold Jäger, Sebastian Jakob, Michael Kersten, Sofia Layer, Dominik Mentzos, Daniel Müller, Matthias Wilkens). Danke auch an Dr. Thomas Lemke für die Erstellung vieler Grafiken.

Ein Dankeschön an die Firmen, die mir Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben (ArKaos, ARRI, Barco, BRAINPOOL, Christie, Coolux, Dedo Weigert, Despar, ETC, FGL, Highend Systems, JB-Lighting, Konica Minolta, Looplight, Lumiblade, MA Lighting, Martin Professional, MCI, Niethammer, Relux AG, SMI, Sony, TechnoTeam).

Und ein großes Dankeschön auch an meine Frau für das intensive Korrekturlesen und die Zeit, die sie mit mir bzgl. Diskussionen und Details verbracht hat.

*Roland Greule*

Hamburg, September 2014

## ■ Vorwort zur 2. Auflage

Seit Erscheinen des Buches hat sich im Bereich Event sowie der Scheinwerfer- und LED-Technik sehr viel geändert und rasant weiterentwickelt. Aus diesem Grund wurden vor allem die Kapitel 17 Konzert-Touring-Licht, Kapitel 9 Scheinwerfer und Kapitel 10 Lichtsteuerung und Lichtstellpulte überarbeitet und aktualisiert. Zudem wurde ein neues Kapitel 18 Licht für wirtschaftsbezogene Veranstaltungen ergänzt, da die Eventbranche in diesem Bereich sehr erfolgreich ist. Natürlich wurden die anderen Kapitel allgemein überarbeitet, aktualisiert und auch teilweise umstrukturiert und thematisch zusammengefasst. In Kapitel 19 Lichtpläne und Lichtsimulation wurde der Bereich AR (Augmented Reality) und VR (Virtual Reality) mit aufgenommen. Kapitel 20 (Lichttechnik in der Zukunft) wurde völlig neu bearbeitet und deutlich erweitert, auch in Richtung AR/XR (eXtented Reality) und Interaktivität bis hin zu hybriden Events.

### **Danksagung**

Ich möchte an dieser Stelle dem Hanser Verlag, vor allem meinen Lektoren Frau Kubiak und Herrn Katzenmayer, für die sehr gute Zusammenarbeit danken.

Wie schon bei der ersten Auflage geht ein besonderer Dank an die Mitautoren:innen Herrn Dr. Roland Heinz (Kap. 8), Herrn Fabian Oving (Kap. 9 +10), Herrn Martin Rupprecht (Kap. 11), Frau Alexandra Ehrlitzer (Kap. 14), Herrn Matthias Wilkens (Kap. 15), Herrn Jens Langner (Kap. 17+18), Herrn Martin Kuhn (Kap. 17.6) und Frau Anke von der Heide (Kap. 20.5),

Danke an die Kollegen:innen und Firmen, die mir Grafiken und Bilder zur Verfügung gestellt haben.

Und auch wieder ein großes Dankeschön an meine Frau für das intensive Korrekturlesen.

*Roland Greule*

Hamburg, August 2021

# Die Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Alexandra Ehrlitzer hat Medientechnik an der HAW Hamburg studiert. Sie war freie Lichtplanerin und Lichtdesignerin und arbeitete als wissenschaftliche Mitarbeiterin in Forschungsprojekten zu Lichtwirkung an der HAW. Seit einigen Jahren arbeitet Frau Ehrlitzer bei der Firma macom in den Bereichen Nachwuchsförderung und Lichtplanung.

Prof. Dr.-Ing. Roland Greule lehrt am Department Medientechnik der HAW Hamburg die Fächer Licht- und Beleuchtungstechnik, Lichtdesign, Farbmeterik und Digital Reality. Parallel forscht er zur Lichtwahrnehmung, der emotionalen Wirkung von Licht und Farbe und der fotorealistischen Lichtsimulation von Innenräumen. Er ist seit 2017 Leiter des Forschungs- und Transferzentrums Digital Reality.

Dr. habil. Roland Heinz leitete von 2006–2013 die Philips Lighting Academy in Hamburg. Er gründete mit Partnern 2014 die Lichtplaner-Akademie. Herr Heinz lehrt zudem seit 2001 an der TU Graz und an der Hochschule München die Fächer Lichterzeugung und Innovationsmanagement.

M.Sc. Jens Langner hat an der Beuth Hochschule für Technik Berlin studiert. Im Anschluss war er mehrere Jahre bei der RGB GmbH als Lichtfachplaner im Automobilbereich tätig. Seit 2017 arbeitet er als Business Development Manager für die Firma Robe Deutschland GmbH. Er war Initiator des VLLV e. V. (Verband der Lichtdesigner und Licht- und Medienoperator in der Veranstaltungswirtschaft e. V.). Des Weiteren ist er Projektleiter für NRG Germany (Next Robe Generation), ein Nachwuchsförderprogramm der Firma Robe für den lichttechnischen Nachwuchs. Seit 2020 moderiert er die digitalen Lichtgespräche, eine Streamingsendung, in der Lichtdesigner über ihre Projekte erzählen. Herr Langner ist an mehreren Hochschulen als Gastdozent tätig.

B.Sc. Fabian Oving hat Medientechnik an der HAW Hamburg studiert. Er ist seit 6 Jahren wiss. Mitarbeiter des Lichtlabors der HAW-Hamburg. Neben seiner Arbeit als Freiberufler im Bereich Veranstaltungstechnik und Lichtprogrammierung arbeitet er auch als Gastdozent an verschiedenen Departements der HAW.

Dipl.-Ing. (FH) Martin Rupprecht hat Medientechnik an der HAW Hamburg studiert. Er ist freier Lichtdesigner, Spezialist für Digital Lighting und unterrichtet als Lehrbeauftragter im Department Medientechnik das Fach Lichtdesign und Digital Lighting.

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Wilkens hat Medientechnik an der HAW Hamburg studiert. Er ist seit vielen Jahren als Bildingenieur beim NDR und als Lehrbeauftragter an der HAW-Hamburg für das Fach Videotechnik tätig. Er arbeitet auch als Dozent bei BET Michael Mücher in Hamburg.

Wie der Theaterreformer Adolf Appia zu Anfang des 19. Jahrhundert sagte: „Licht wird nicht mehr gemalt, sondern geleuchtet“, 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  $\lambda$  und der Frequenz  $f$  einer Strahlung besteht folgender Zusammenhang:

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

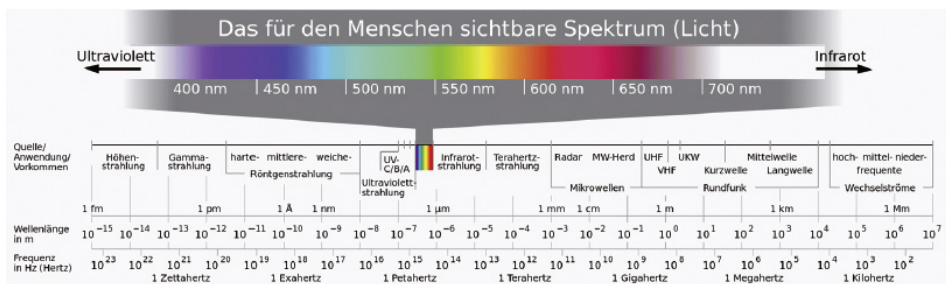
$c$  = Lichtgeschwindigkeit (299 999 km/sec)

$f$  = Frequenz (Hz)

$\lambda$  = Wellenlänge (nm)

## ■ 2.2 Strahlung und Spektrum

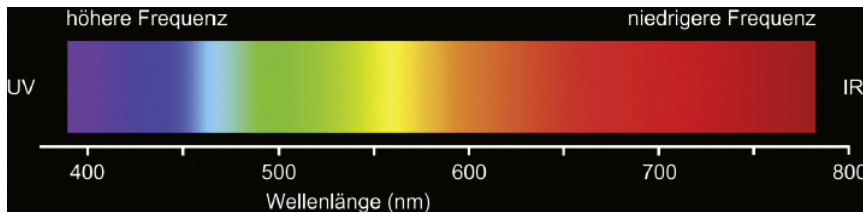
Die Strahlung, die der Mensch erkennen kann (380 nm – 780 nm), gehört zum Gesamtbereich der elektromagnetischen Strahlung, die von der kosmischen Strahlung bzw. Höhenstrahlung ( $10^{-15}$  m) bis zu den technischen Wechselströmen reicht ( $10^7$  m). Der Bereich der optischen Strahlung reicht vom kurzwelligen 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 D<sub>2</sub>, 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 Hochdruckmetall-dampflampen (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 $\Phi_e$

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

### 2.3.2 Strahlstärke $I_e$

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

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

$I_e$  = Strahlstärke  
 $\Phi_e$  = Strahlungsfluss  
 $\Omega$  = 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  $\text{m}^2$ .

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

$E_e$  = Bestrahlungsstärke  
 $\Phi_e$  = 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.

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

$L_e$  = Strahldichte

$d^2\Phi_e$  = Strahlungsleistung

$A$  = Fläche

$\Omega$  = 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 $\Phi_e$       | Lichtstrom $\Phi$                 |
| 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 $H$                    |

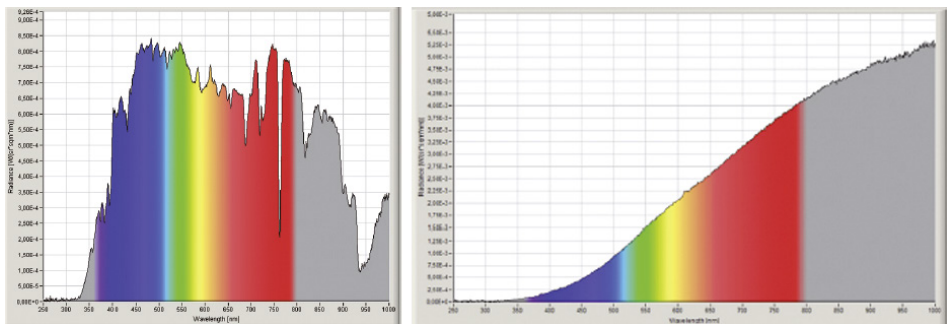
## ■ 2.4 Licht- und Emissionsspektren

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.

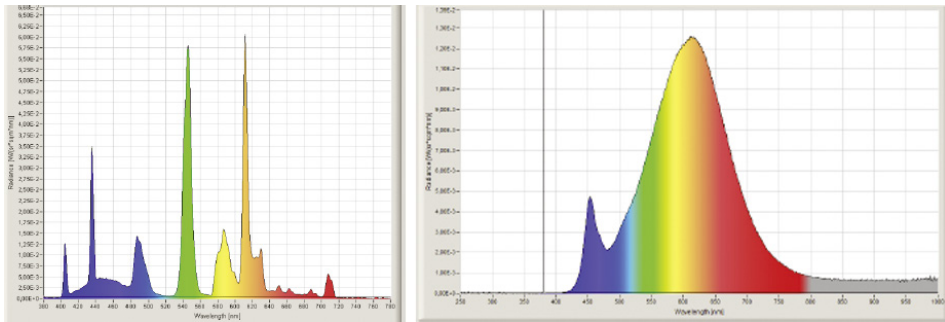
Die wichtigste natürliche Strahlungsquelle ist dabei die Sonne. Sie entspricht dem Spektrum eines Schwarzen Körpers mit einer Temperatur von ungefähr 6000 K. Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre wird das Spektrum der Sonne jedoch verändert. Bild 2.3 links stellt den typischen Spektralverlauf von Tageslicht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

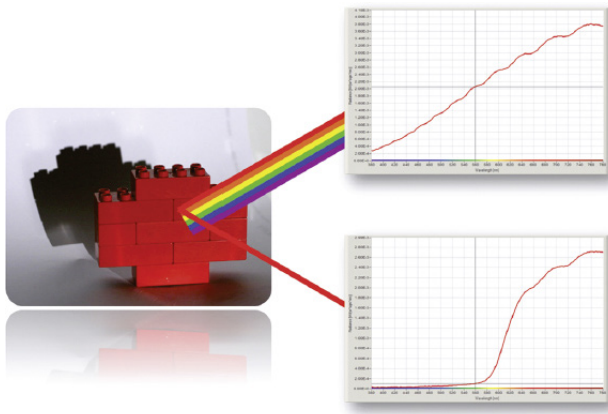
Bei den üblichen Sehbedingungen/Umgebungsbedingungen sieht der Mensch das Tageslicht als weißes Licht, er kann die einzelnen Spektralbereiche nicht unterscheiden bzw. auflösen, obwohl das weiße Licht, wie im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, aus den einzelnen Spektralbereichen (Farben) zusammengesetzt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

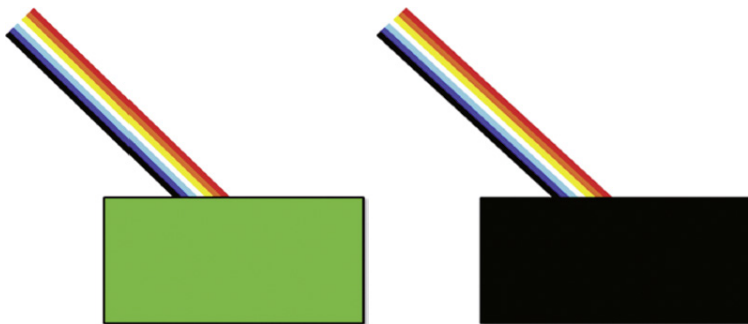
Man spricht von Körperfarben, wenn Licht auf eine Fläche fällt und von dieser Fläche zum Teil reflektiert und/oder absorbiert wird. Das bedeutet, farbige Gegenstände strahlen nicht selbst die Farben aus (sind also keine Selbstleuchter), sondern es werden nur die Wellen der entsprechenden Farben reflektiert,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

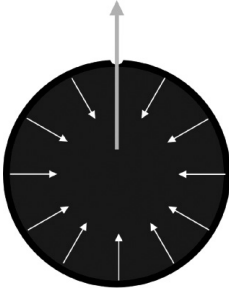
In Bild 2.6 fehlt beim einfallenden Spektrum die grüne Spektralfarbe. Entsprechend wird diese Farbe bzw. Spektrallinie von der grünen Kiste nicht reflektiert, was zur Folge hat, dass die Box unter dieser speziellen Anstrahlung schwarz wirkt.



**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

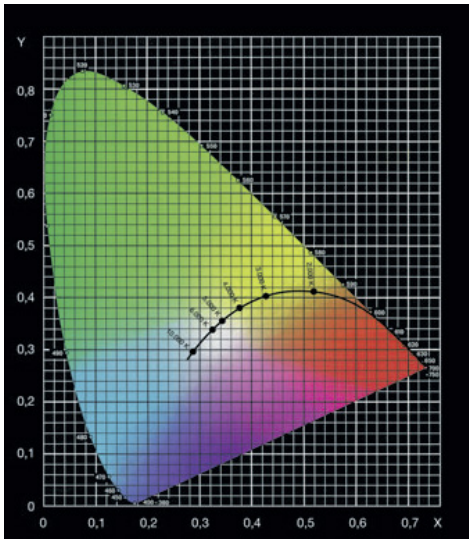
Der schwarze Hohlraum eines Körpers absorbiert im Prinzip alles Licht, das durch eine Öffnung einfällt, die klein ist im Verhältnis zum Durchmesser des Hohlraumes ( $1/60$ ). Trotzdem tritt ein sehr geringer Teil des Lichtes wieder aus der Öffnung heraus, der gemessen bzw. bewertet werden kann.

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.  $800\text{ °C}$  bzw.  $1073\text{ Kelvin}$  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 ( $-273\text{ °C}$ ).

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 Farbmusterungskasten: linker Kasten 6500 K (Tageslichtweiß), rechter Kasten 2700 K (Warmweiß)

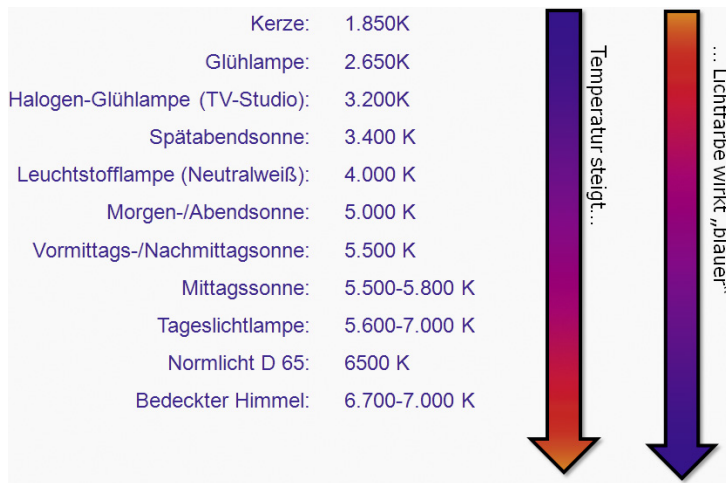
**Tabelle 2.2** Auflistung verschiedener Farbtemperaturen

| 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).

# Index

## Symbole

2°-Gesichtsfeldgröße 85  
2°-Normalbeobachter 85  
3-in-1-LEDs 193  
360°-Projektion 198

## A

Abmusterungskasten 98  
Absorptionsgrad 35  
ACN 184  
Adaptation 67  
Adaptation, chromatische 70  
Adaptationsleuchtdichte 39, 46  
Adolphe Appia 240  
Akkommodation 49, 67  
Akkommodationsbreite 49  
aktinische Messverfahren 110  
Ambient Light 361  
ANSI\American Nation Standards  
Institut 198  
ANSI-Lumen 196  
Arbeitsblende 291  
ArtNet 183  
ArtNet-Protokoll 183  
ASA 306  
Aufhelllicht 231  
Aufhellung 231  
Auflösung 193  
Augenlicht 231  
Augmented Reality 380

## B

Beleuchter 283  
Beleuchtungsmesser 311  
Beleuchtungsstärke 25  
Beleuchtungsstärke, vertikale 25  
Beleuchtungsstärkemesser 26, 110  
Belichtung 29, 116, 304  
Belichtungsmesser 116, 311  
Best Boy 242  
Bildingenieur 284  
BIM (Building Information Modelling)  
388  
Binning 141  
blaues Licht 71  
Blaulichtgefährdung (Blue Hazard) 71  
Blende 304  
Blendenstufe 43  
Blendenumfang 43  
Blinder 154  
Bouncing 318  
BRDF (Bidirectional Reflectance  
Distribution Function) 33  
BT.2020 95  
Bühnendesign 246  
Bühnenstile 269  
Building Information Modelling  
(BIM) 388  
Bump-Mapping 356  
Buntheit 78  
Buntton 78  
Butterfly 317

## C

C0/C180-Darstellung 23  
 CAM02-UCS 94  
 Candela 21  
 CAVE 369  
 Chimera 314  
 Chroma-Key-Hintergrund 275  
 CIE 17, 48, 78, 83  
 CIECAM02-UCS 94  
 CIE-Farbdigramm 88  
 CIE-L\*a\*b\* 92  
 CIE-L\*u\*v\* 91  
 CIE-UCS 89  
 CIE-XY-Farbraum 12  
 CIE-XYZ-Farbraum 85  
 circadianer Wirkungsfaktor 56  
 circadiane Wirkung 18  
 Color Gamut 88  
 Computersimulation 351  
 Content 201, 203  
 cosinusgetreue Bewertung 112  
 Cosinus-Korrektur 112  
 cosinustreu 26  
 Cosinuswinkel 26  
 CP 60 155  
 CP 61 155  
 CP 62 155  
 CQS 99  
 Creative LED 194  
 CRI (color rendering index) 98  
 Cross-Reality(XR)-Plattformen 383  
 Cry Engine 366  
 CTB 107  
 CTO 107  
 CueList 209  
 Cues 209, 239

## D

D65 91  
 Dedo-Light 313  
 depece<sup>2</sup> 368  
 DIALuxEvo 364  
 Dichtewert 305

digitales Theater 386  
 Digital Lighting 191  
 Dino Lights 316  
 DIN-System 89  
 Diskrimination 39  
 DMX-512 175  
 DMX-512A 179  
 DMX-2000 179  
 DMX-Adresse 209  
 DMX-Booster 177  
 DMX (Digital Multiplex) 172  
 DMX-Merger 178  
 DMX-Splitter 177  
 DMX-Tester 178  
 Dogma95 235, 319  
 DoP (Director of Photography)  
     241, 282, 310  
 Dramaturgie 246  
 Dreibereichsverfahren 119  
 Dreifarbentheorie 59, 61  
 Dreipunkt-Ausleuchtung 232, 293  
 dritter Rezeptor 18, 56

## E

Echtzeit-Lichts simulations-  
     programme 365  
 Edward Gordon Graig 240  
 Einleuchten 297  
 Einpunkt-Ausleuchtung 232  
 Eiserner Vorhang 265  
 Elektrolumineszenz 136  
 Elektronenleitung 137  
 Ethernet 181  
 Ethernet-Netzwerk 181  
 EVG 133  
 Eye-Tracking-System 64

## F

fl-Fehler 111  
 Fahnen 318  
 Falschfarbenbild 113  
 Farbabstand 92  
 Farbabstandsformel 93

Farbabstandsschwellen 90  
Farbdifferenzschwelle 93  
Farbfilter 103, 162  
Farbfilter, dichroitischer 105  
Farbfolien 103  
Farbkonstanz 69  
Farbkreis 81  
Farbmetrik 80  
Farbmetrik, höhere 80  
Farbmetrik, niedrige 80  
Farbmischung 78  
Farbmischung, additiv 96  
Farbmischung, subtraktiv 96  
Farbordnung 83  
Farbordnungssysteme 83  
Farbort 12  
Farbraum 82  
Farbreiz 78  
Farbreizfunktion 78, 122  
Farbsystem 82  
Farbtafel 88  
Farbtemperatur 11  
Farbton 78  
Farbunterschiedsschwellen 90  
Farbvalenz 78, 119  
Farbvalenzmetrik 80  
Farbwiedergabe 98, 133  
f-Blende 291  
Film Noir 235, 319  
Fixation 64  
Flathead 314  
Flat-Shading 358  
Fluter 152  
Fokussieren 268  
Fotogrammetrie 390  
Fotometrie 3  
Fotometrie, physikalisch 110  
Fotometrie, spektral 116  
Fotometrie, visuell 109  
fotometrisches Entfernungsgesetz 27, 110  
Fovea centralis 52  
French Flags 318  
Fresnel-Scheinwerfer 285  
Frostfolie 162

Führungslicht 231  
Fußlicht 229

## G

Gain 198  
Gammawert 306  
Ganglienzellen 18  
Gassenlicht 229  
GDTF-Daten 371  
Gegenfarben 61  
Gegenfarbentheorie 61  
Gegenlicht 227  
Gleichheitsverfahren 118  
Gloriole 231  
Glühlampe 126 f.  
Gobo (Vignette) 161  
Goniophotometer 114  
Gourand-Shading 359  
Gradation 305  
grandMA2 fullsize 187  
grandMA 3D 366  
Grassmann 82  
Graukarte 31  
Green-Screen-Studio 375

## H

Halbschatten 221  
Halbstreuwinkel 35  
Halogen-Kreisprozess 129  
Halogenlampe 129  
Hauptlicht 231  
HDMI 211  
Heat-Map 65  
Hellempfindlichkeit 17  
Hellempfindlichkeit, relative 17  
Hellempfindlichkeitskurve, spektrale 17  
Helligkeit 45, 78  
Helligkeitseindruck 29  
Helligkeitskonstanz 69  
High Dynamic Range (HDR) 95, 288  
High-Flux-LED 138  
High-Key-Stil 236  
HiLite 365

Hinterlicht 227, 231  
 HMI 5  
 Hochdruckentladung 133  
 Hochdruckentladungslampe 134  
 Hochdruckmetall dampflampen 5  
 Hololens2 371  
 Honeycomb Grids 315  
 Hook-Up Schedule 267  
 Horizontlicht 229  
 HSV-System 89  
 HTC-Vive Pro 370  
 Hybridscheinwerfer 168

## I

Indikatrix 33  
 Infrarot-Bereich 4  
 Interaktivität 380  
 Iris 161  
 IR-Strahlung 5

## K

Kameramann, lichtsetzender 241  
 Kantenlicht 231  
 Kernschatten 221  
 key-light 234, 246  
 Keystone-Korrektur 196  
 Kicker 231  
 KI (Künstliche Intelligenz) 391  
 Kino-Flo 314  
 Kontrast 39  
 Kontrast K 41  
 Kontrast, negativ 40  
 Kontrast, positiv 40  
 Kontrastumfang 43  
 Konversionsfolien 106  
 Kopflicht 227  
 Körperfarben 10, 78

## L

L70B50-Wert 126  
 Labormessgeräte 111  
 Lambert-Strahler 31

Layer 202  
 Layout Schedule 267f.  
 Lebensdauer 126  
 LED 136, 139  
 LED-Chip 137  
 LED-Engine 144  
 LED-Fluter 152  
 LED-Retrofits 143  
 LED-System 191  
 Lens Shift 196  
 Leuchtdichte 29  
 Leuchtdichtekamera 113  
 Leuchtdichtekoeffizienten 33  
 Leuchtdichtemesser 116  
 Leuchtstofflampen 131  
 LEVK – Lichteinfallsstärkeverteilung 321  
 Lichtarchitektur 373  
 Lichtausbeute 20  
 Lichtdesign 242, 282  
 Lichtdesigner 242  
 Lichteinfallsstärke 321  
 Lichtempfindlichkeit 291, 306  
 Lichtgestaltung 242  
 Lichtinszenierung 240  
 Lichtkontrast 42  
 Lichtnetzwerke 180  
 Lichtplan 299, 349, 352  
 Lichtquelle 125  
 Lichtsimulation 349  
 Lichtsimulationsprogramm 363  
 Lichtstärke I 21  
 Lichtstärkeverteilungskurve  
 (LVK) 23, 114  
 Lichtstellpulte 186  
 Lichtsteuerung 172  
 Lichtsteuerung, hybrid 186  
 Lichtsteuerung, manuell 186  
 Lichtstile 269  
 Lichtstrom 18  
 Licht, weiches 222  
 Lightbanks 315  
 Linienspektrum 7  
 Live LED Wall In-Camera Virtual  
 Production 378  
 Lochleitung 137

Look 217, 246, 293, 296  
Louver 315  
Lowel-Light 315  
Low-Key, aufgehellter 236  
Low-Key-Stil 235  
Low-Key, unausgeglichener 236  
Lux 25  
Luxmeter 110  
LVK 23

## M

MacAdam-Ellipsen 90  
MARK 175  
Master-Client-Struktur 209  
Maxibruite 316  
Max Keller 261  
McCandless 35, 223, 240, 243  
Medienfassaden 381  
Medienserver 197, 200, 208  
Melatonin 18  
Messgeometrie 123  
MIDI 212  
Mired 106  
Mired Shift Value 106  
Mired-Wert 106  
Modelling 320  
Movingheads 163  
Movinglights 162  
Movinglight-Steuerung 186  
Multifunktionsstudio 278  
Multiplexing 174  
Munsell 82  
Munsell-System 89  
Myopie 67

## N

Nachtsehen 18  
Natural Color System (NCS) 83  
NCS-System 89  
Netzhaut 3  
Netzwerkknoten 182  
Neutralfilter 106  
nicht-visuelle Wirkung 55

Niederdruckentladungslampen 131  
Niederdruckgasentladung 131  
Normalenvektor 26  
Normal-Stil 235  
Normfarbwerte 92  
Normlichtart A 14  
Normlichtart C 14  
Normlichtart D 65 14  
Normvalenzsystem XYZ 78

## O

Oberbeleuchter 242, 310  
Oberlicht 226  
Objektkontrast 41  
Oculus Rift 369  
OLED 147, 373  
OLED-Display 148  
Opazität 117  
Open Air 324  
Opera-Beleuchtung 275

## P

PAN 286  
PAN-Richtung 158  
Parabolspiegel-Scheinwerfer 155  
Patchen 267  
Patchplan 330  
Phong-Shading 359  
Phosphoren 133  
Physiologie 49  
Physiologie des Auges 1  
Pixelmapping 198, 204  
Pixelpitch 194  
Planck'scher Strahler 8, 11  
Plankonvex-Scheinwerfer 157  
Plot (Draufsicht) 267  
Power over Ethernet 182  
Previsualisierung 349  
Primärvalenzen 84  
Primärvalenzsystem 85  
Profil-Scheinwerfer 159  
Projektionen 195

psychometrische Helligkeit 119  
 psychometrische Helligkeits-  
 funktion 91

## R

Radiosity-Programme 358  
 Radiosity-Verfahren 359  
 RAL-Design-System 89  
 Rampe 154  
 Rampenlicht 229  
 Ratio 44  
 Raumwinkel 22  
 Raumwinkelement 7  
 Raytracing-Programme 358  
 Raytracing-Verfahren 361  
 RGB-Farbraum 84  
 RDM 179  
 Rec2020 95  
 Reflexion, diffuse 31  
 Reflexion, gemischte 33  
 Reflexion, gerichtete 32  
 Reflexionsgrad 31, 114, 119  
 Refreshrate 175  
 Relux 364  
 Remission 117  
 Remissionsgrad 31  
 Remote-Verfolger 336  
 Rendering 357  
 RESET-Signal 175  
 Revit 388  
 RGBW 193  
 Rigg 324

## S

Saccade 64  
 Sättigung 78  
 Scanner 162  
 Scan-Path 65  
 Schärfentiefe 308  
 Schatten 217  
 Schattigkeit 218  
 Scheinwerfer 151  
 Scheinwerfersymbole 352

Schuhkarton-Modelle 350  
 Schwarzer Körper 12  
 Schwarzer Strahler 11  
 Schwarzschwelle 46  
 Schwellenkontrast 40  
 Section (Seitenansicht) 267  
 Sehen, mesopisches 18  
 Sehen, photopisches 16, 18  
 Sehen, skoptisches 18  
 Sehleistung 39  
 Sehschärfe 66  
 Seitenlicht 228  
 Selbstleuchter 10, 78  
 Selbststrahler 125  
 Setdesigner 195  
 Sets 293  
 Set Up 268  
 Show-Studio 279  
 Simulation 351  
 Simultankontrast 252  
 SMPTE 212  
 Softedge-Blending 198  
 Solid Modeling 356  
 Sonnenlicht 9  
 Source Four 72, 160  
 Spacelights 316  
 Speicherlichtsteuerung 186  
 spektraler Strahlungsfluss 18  
 Spektrallinien 8  
 Spektralverfahren 120  
 Spektralwertkurven 86  
 Spektrum, kontinuierliches 8  
 Spitzlicht 231  
 Spotmessung 116  
 Spotmeter 117, 311  
 Stäbchen 3, 50  
 Standard-Objektiv 291  
 Stevens-und-Hunt-Effekt 70  
 Strahldichte 7  
 Strahlung, optisch 3  
 Strahlungsfluss 6, 18  
 Strahlungsfunktion 119  
 Strahlungsleistung 7, 18  
 Strahlungsphysik 3  
 Stroboskop 161

Stromlaufplan 332  
Stufenlinsen-Scheinwerfer 157  
Szenenkontrast 42

## T

Tagessehen 16 f.  
TCLI-2012 102  
Teleobjektiv 291  
Temperaturstrahlung 128  
Textur 203  
Tiefenschärfe 308  
TILT 286  
TILT-Richtung 158  
Timeline 209  
TM 30-15 100  
Top Hat 162  
Toplight 227  
Torblende 161  
Tracking-System 336  
Transmission, diffuse 34  
Transmission, gemischte 34  
Transmission, gerichtete 34  
Transmissionsgrad 34

## U

Überfarben 85  
U-Kugel 114  
Ulbrichtkugel 114  
Ultra High Definition (UHD)  
95, 288  
Ultraviolettstrahlung (UV) 5  
Unbuntpunkt 86  
Unity 3D 366  
Unreal 3D 366  
Unterlicht 229  
UV-A 5  
UV-B 5  
UV-Bereich 4  
UV-C 5  
UV-C-Strahlung 73  
UV-Mapping 202

## V

Vectorworks 368  
Video-Content 249  
Vierpunkt-Ausleuchtung 233  
Virtual Production 375  
Virtual Reality 368  
virtuelle Kamera 205  
visueller Cortex 51  
visueller Kanal 1  
VJ-Bereich 207  
Vorabvisualisierung 349  
Vorderlicht 226  
Vorderlicht, seitliches 226  
 $V(\lambda)$ -Kurve 17, 111

## W

Weber-Fechner-Bereich 46  
Weber-Fechner'sche Regel 46  
Weißabgleich 69, 292  
weißes Licht 9  
Weißlicht 191  
Weißstandard 121  
Weitwinkelobjektiv 291  
Wellenlänge 3  
Wendy Lights 316  
Wide Color Gamut (WCG) 95, 288  
Wien'scher Verschiebungssatz 129  
Wireframe 355  
WYSIWIG 367

## X

Xenonlampe 135  
XLR-Stecker 175  
XRchitecture 383

## Z

Zapfen 3, 50  
Z-Brücke (Zuschauerbrücke) 265  
Zonentheorie 61  
Zweipunkt-Ausleuchtung 232