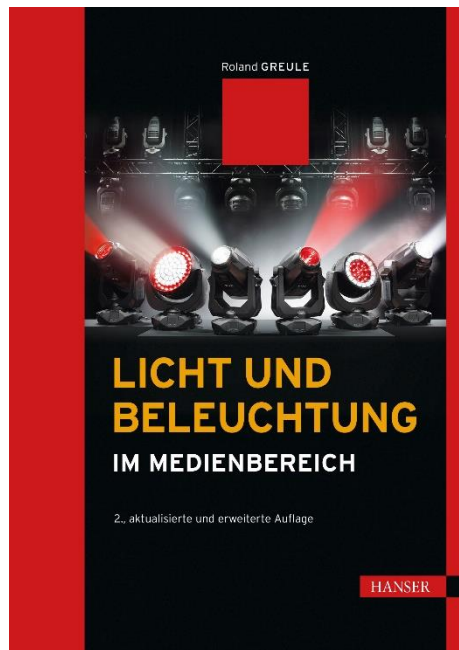


HANSER



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

Widmung	V
Vorwort	XXIII
Die Autoren	XXV
1 Einführung	1
2 Licht und Strahlung	3
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 Φ_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
3	Lichttechnische Grundgrößen	15
3.1	Spektrale Hellempfindlichkeit	16
3.1.1	Messaufbau	16
3.1.2	Relative Hellempfindlichkeit bei Tagessehen	17
3.2	Lichtstrom Φ	18
3.2.1	Hellempfindlichkeit bei photopischem Sehen	19
3.2.2	Hellempfindlichkeit bei skotopischem Sehen	20
3.3	Lichtausbeute η	20
3.4	Lichtstärke I	21
3.4.1	Raumwinkel Ω	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

4	Kontrast und Helligkeit	39
4.1	Kontrast	39
4.1.1	Physiologischer Kontrast	39
4.1.2	Helligkeitsdetektion C	40
4.2	Kontrastdefinition im Film- und Fernsbereich	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
5	Auge und Wahrnehmung	49
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
6	Farbmetrische Grundlagen	77
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 (Bunton)	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	MIREL	106
6.6.5	Mired Shift Value	106
6.7	Übungsbeispiele	107
7	Licht- und Farbmessstechnik	109
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
8	Lichtquellen	125
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- 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

9	Scheinwerfer	151
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
10	Lichtsteuerung und Lichtstellpulte	171
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
11	Digital Lighting	191
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
12	Lichtführung	217
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 Fernsbereich	230
12.5.2	Personenausleuchtung im Fernsbereich	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- 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
13	Lichtgestaltung und Lichtdesign	239
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

14 Theater-Licht	259
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
15 Fernseh-Licht	275
15.1 Studios	275
15.1.1 Aufsager- oder Schaltstudio	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 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
16	Film-Licht	303
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
17	Konzert-Touring-Licht	323
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
18	Licht für wirtschaftsbezogene Veranstaltungen	341
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
19	Lichtpläne und Lichtsimulation	349
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	depençe ²	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, Hololens, Google Glass	369
19.5.4.3	VR-Anwendung von GDTF-Daten und Unity-Engine ...	371
20	Ausblick: Lichttechnik in der Zukunft	373
20.1	Zusammenwachsen von Eventtechnik und Lichtarchitektur	373
20.2	Neue Sende- und Videoformate (Zoom-Meetings, 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 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
Lösungen der Übungsaufgaben und Verständnisfragen	393
Literatur und weitere Informationsmedien	395
Literaturverzeichnis	395
Fachzeitschriften	397
Webadressen (Verbände)	398
Bildnachweis	399
Index	407

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, Looptlight, 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.

1

Einführung

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 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.

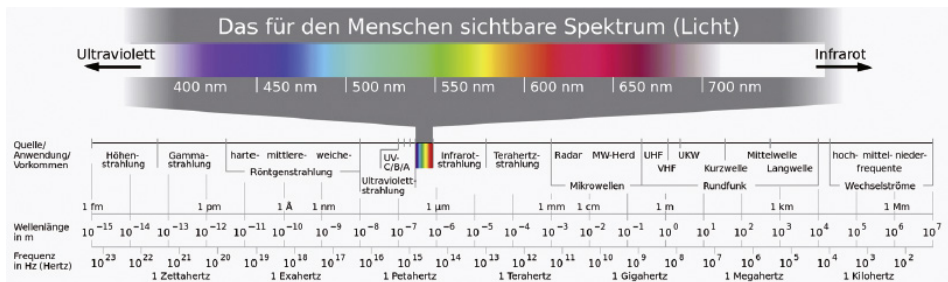


Bild 2.1 Gesamtes Spektrum der elektromagnetischen Wellen

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.

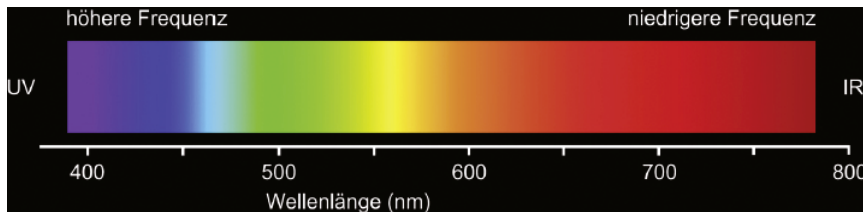


Bild 2.2 Sichtbare Strahlung bzw. Farbspektrum

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 ($1 W = 1 \text{ Joule/sec}$) 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.

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

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).

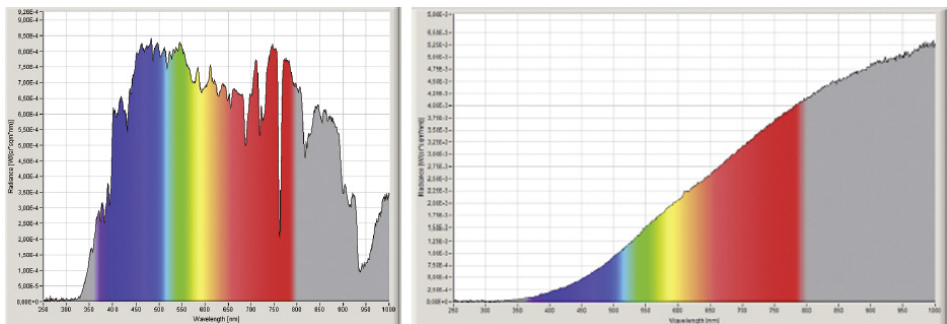


Bild 2.3 Links: Spektrum Tageslicht (Hamburg, November 2012, bewölkter Himmel); rechts: Spektrum einer Glühlampe (60 W)

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).

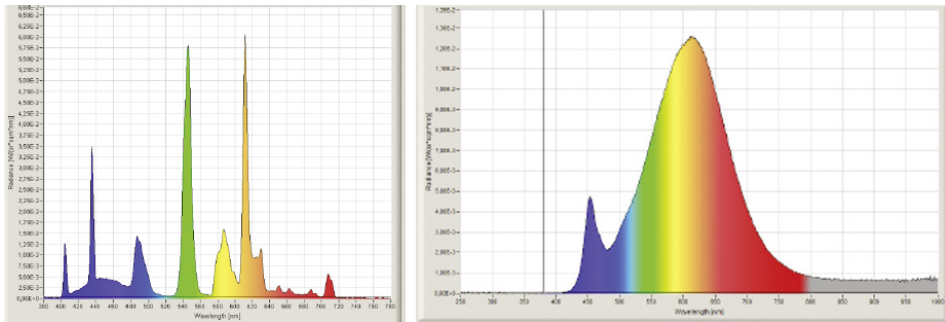


Bild 2.4 Links: Spektrum einer Leuchtstofflampe, rechts: Spektrum einer LED (Master Bulb, 12 W, Philips)

■ 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).

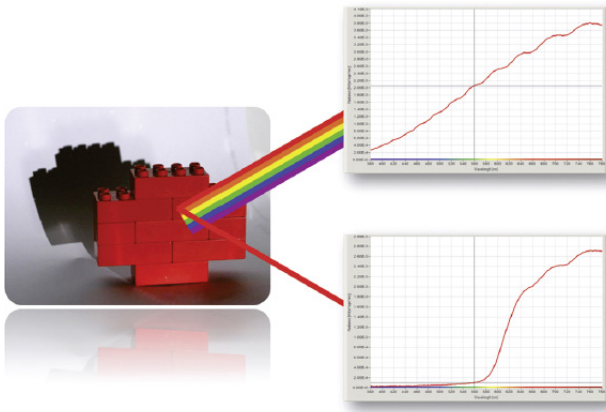


Bild 2.5 Beleuchtung von roten Legosteinen mit kontinuierlichem Licht. Rechtes oberes Bild, Spektrum der verwendeten Halogenlampe, rechtes unteres Bild, reflektiertes Licht bzw. Spektrum

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.

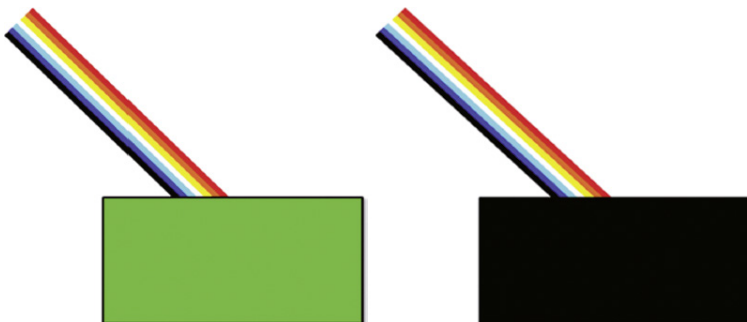


Bild 2.6 Links: einfallendes Licht auf eine grüne Box, wobei bei dem Spektrum die grüne Spektralfarbe fehlt, rechts: Die Box wirkt dadurch schwarz

■ 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.

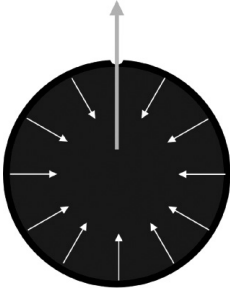


Bild 2.7

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.

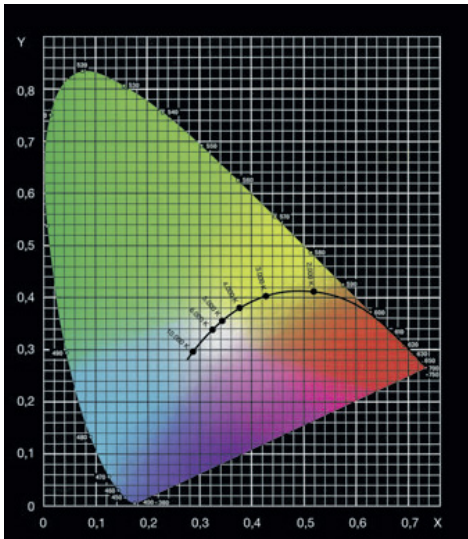


Bild 2.8 Verlauf der Farbtemperatur im CIE xy-Farbraum

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.

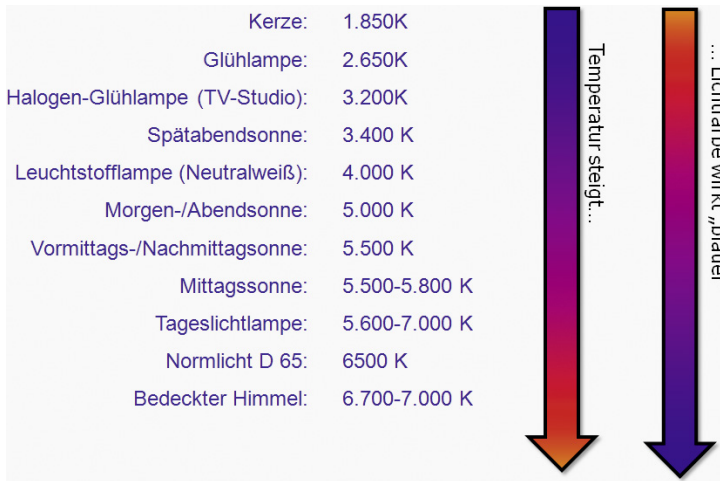


Bild 2.10 Schematische Darstellung der Farbtemperaturwerte und der Farberscheinung

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 $T_n = 2855,4$ K für Glühlampen.
- **Normlichtart C:** entsprechend dem Tageslicht mit der „ähnlichsten Farbtemperatur“ von $T_n = 6774$ K für künstliches Tageslicht im spektralen Bereich (Sonnenlicht und Himmelslicht).
- **Normlichtart D 65:** entsprechend dem Tageslicht mit der „ähnlichsten Farbtemperatur“ $T_n = 6504$ 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-Farbdiaagramm 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
 depence² 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
 Dreifarbenstheorie 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
Maxibrote 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
 RBG-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