

# Inhalt

Vorwort zur 6. Auflage.....	5	
<b>1</b>	<b>Lichttechnische Grundlagen</b> .....	<b>19</b>
1.1	Physikalische Grundlagen.....	19
1.1.1	Elektromagnetische Wellen.....	19
1.1.2	Lichtquellen.....	22
1.1.3	Normlichtarten.....	23
1.2	Größen und Einheiten.....	24
1.2.1	Spektrale Hellempfindlichkeit.....	24
1.2.2	Lichtstrom $\Phi$ .....	25
1.2.3	Lichtmenge $Q$ .....	26
1.2.4	Raumwinkel $\Omega$ .....	27
1.2.5	Lichtstärke $I$ .....	28
1.2.6	Beleuchtungsstärke $E$ .....	30
1.2.6.1	Fotometrische Grenzentfernung.....	35
1.2.7	Leuchtdichte $L$ .....	35
1.2.8	Lichtstärkeverteilungskurve LVK.....	37
1.2.8.1	Polarkoordinatensystem.....	37
1.2.8.2	Kartesisches Koordinatensystem.....	38
1.2.8.3	Halbwertswinkel.....	39
1.2.9	Kontrastwiedergabefaktor $CRF$ .....	40
1.3	Lichtausbeute $\eta$ .....	41
1.4	Licht und Farbe.....	43
1.4.1	Farbtemperatur $T_F$ .....	44
1.4.2	Farbwiedergabe-Index $R_a$ bzw. $CRI$ .....	45
1.4.3	Lampenbezeichnung.....	47
1.4.4	Das Farbdreieck.....	48
1.5	Optische Eigenschaften der Materie.....	49
1.5.1	Absorption.....	50
1.5.2	Transmission.....	50
1.5.3	Reflexion.....	50
1.5.4	Zusammenhänge.....	52

<b>2</b>	<b>Licht und Sehen</b> .....	53
2.1	Sehen und Erkennen .....	53
2.1.1	Das Auge .....	53
2.1.1.1	Eigenschaften .....	54
2.1.1.2	Farbwahrnehmung .....	56
2.2	Wirkungen auf den Menschen .....	57
2.2.1	Gesundheitliche und psychische Einwirkungen .....	57
2.2.1.1	Licht als Zeitgeber .....	58
2.2.2	Licht und Arbeitsbedingungen .....	59
2.2.3	Dynamisches Licht .....	62
2.2.3.1	Lichttherapie .....	62
2.2.3.2	Human Centric Lighting HCL .....	63
2.3	Störeinflüsse .....	64
2.3.1	Blendung .....	64
2.3.1.1	Schleierleuchtdichte .....	65
2.3.1.2	Reflexblendung .....	66
2.3.2	Störende Lampeneinflüsse .....	68
<b>3</b>	<b>Lampen</b> .....	71
3.1	Übersicht über die Lampensysteme .....	71
3.1.1	Lichtwirtschaft .....	72
3.1.2	Bezeichnung elektrischer Lampen .....	74
3.1.3	Lampensockel .....	75
3.1.4	Lebensdauer von Lampen .....	77
3.1.5	Helligkeitssteuerung .....	79
3.2	Temperaturstrahler .....	81
3.2.1	Glühlampen .....	81
3.2.2	Halogenglühlampe .....	83
3.2.2.1	Betrieb von Halogenglühlampen .....	85
3.2.2.2	Elektrische Dimensionierung .....	85
3.2.2.3	Elektrischer Anschluss .....	86
3.2.2.4	Montage von Halogenglühlampen .....	87
3.2.2.5	Dimmen von Halogenglühlampen .....	88
3.3	Niederdruck-Entladungslampen .....	89
3.3.1	Leuchtstofflampen .....	92
3.3.1.1	Aufbau und Funktionsweise .....	93
3.3.1.2	Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaft .....	95
3.3.1.3	Anwendung verschiedener Leuchtstofflampen .....	97
3.3.1.4	Start und Betrieb mit 50 Hz .....	99
3.3.1.5	Elektronische Vorschaltgeräte EVG .....	102
3.3.1.6	Kompaktleuchtstofflampen steckbar .....	104

---

3.3.1.7	Kompaktleuchtstofflampen einschraubbar	107
3.3.1.8	Energie- und Kosten sparen	108
3.3.1.9	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen	108
3.3.1.10	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im 50-Hz-Betrieb	109
3.3.1.11	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im EVG-Betrieb	109
3.3.2	Natriumdampf-Niederdrucklampen	110
3.4	Hochdruck-Entladungslampen	111
3.4.1	Natriumdampf-Hochdrucklampen	112
3.4.2	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	115
3.4.3	Halogen-Metallampflampen	115
3.4.3.1	Halogen-Metallampflampen mit Quarzbrenner	115
3.4.3.2	Halogen-Metallampflampen mit Keramikbrenner	118
3.4.4	Betriebssysteme für Hochdruck-Entladungslampen	119
3.4.5	Dimmen von Hochdruck-Entladungslampen	120
3.4.5.1	Dimmen von Natriumdampf-Hochdrucklampen	121
3.4.5.2	Dimmen von Halogen-Metallampflampen	122
3.5	Lichtmanagementsysteme	123
3.5.1	Drahtgebundene Systeme	123
3.5.1.1	Analog 1 ... 10 V	124
3.5.1.2	DALI – digitale Lichtsteuerung	124
3.5.1.3	DMX	125
3.5.1.4	DigitalSTROM	125
3.5.2	Drahtlose Systeme	125
3.5.2.1	ZigBee	125
3.5.2.2	EnOcean	125
3.5.2.3	Bluetooth	126
3.5.2.4	WLAN	126
3.6	Lampenbetrieb und Umwelt	126
3.6.1	Elektrosmog von Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen	126
3.6.2	Quecksilber – kein großes Problem	127
3.6.3	Blaulichtgefährdung durch LED	127
3.7	Energie-Etikette	129
3.8	Recycling von Lampen	131
3.9	Lampenwechsel	133
3.9.1	Lampenaustausch	133
3.9.1.1	Einzelwechsel	133
3.9.1.2	Gruppenwechsel	134
3.9.1.3	Dringlicher Lampenwechsel	136
3.9.2	Lebensdauerende kompakter Entladungslampen	136
3.9.2.1	Zyklisches Ein und Aus	136

3.9.2.2	Hochdrucklampen mit keramischem Brenner .....	137
3.9.3	Wann sind kompakte Entladungslampen zu wechseln? .....	138
3.9.3.1	Lampenwechsel kompakter Entladungslampen .....	139
3.10	LED – Light-Emitting Diodes .....	140
3.10.1	Funktionsweise und Herstellung .....	141
3.10.1.1	Funktionsweise .....	141
3.10.1.2	Herstellung .....	145
3.10.1.3	Binning und MacAdam .....	146
3.10.2	Effizienz, Wirkungsgrad, Lebensdauer .....	147
3.10.2.1	Effizienz und Wirkungsgrad .....	147
3.10.2.2	LED-Effizienz ist nicht gleich Leuchten-Effizienz .....	149
3.10.2.3	Lebensdauer der LED .....	150
3.10.3	Stromversorgung von LEDs .....	154
3.10.3.1	Betrieb am Vorwiderstand .....	154
3.10.3.2	Spannungsgesteuerte LEDs .....	155
3.10.3.3	Stromgesteuerte LEDs .....	155
3.10.4	Dimmen der LEDs .....	156
3.10.4.1	Amplitudenmodulation AM .....	156
3.10.4.2	Pulsweitenmodulation PWM .....	157
3.10.4.3	Kombination von AM mit PWM .....	157
3.10.4.4	Änderung der Farbtemperatur .....	158
3.11	OLED .....	158
3.11.1	Aufbau .....	159
3.11.2	Betrieb der OLED .....	160
3.11.3	Dimmen der OLED .....	161
3.11.4	Lebensdauer der OLEDs .....	161
3.11.5	Optische Eigenschaften der OLEDs .....	162
3.12	LED-Retrofit-Lampen .....	162
3.12.1	Aufbau .....	162
3.12.2	Dimmen von LED-Retrofitlampen .....	165
3.12.2.1	Dimmen mit Phasendimmern .....	165
3.12.2.2	Dimmen über digitale netzüberlagerte Signale .....	166
3.12.2.3	Dimmen über den Lichtschalter .....	167
3.12.3	LED-Röhren als Ersatz für Leuchtstofflampen .....	167
3.13	Zhaga spezifiziert LED-Standards .....	169
<b>4</b>	<b>Leuchten</b> .....	<b>171</b>
4.1	Materialeigenschaften .....	172
4.1.1	Lichttechnische Eigenschaften .....	172
4.1.2	Langzeiteigenschaften .....	174
4.1.3	Reflektorformen .....	174

---

4.2	Leuchtenspezifikationen.....	177
4.2.1	Einteilung.....	177
4.2.2	Lichttechnische Eigenschaften.....	179
4.2.2.1	Lichtstromverteilung.....	179
4.2.2.2	Lichtstärkeverteilung.....	180
4.2.2.3	Leuchtdichteverteilung.....	181
4.2.2.4	Leuchten(betriebs)wirkungsgrad.....	182
4.2.3	Sicherheitstechnische Anforderungen.....	183
4.2.3.1	Schutzklassen.....	183
4.2.3.2	Schutzarten.....	184
4.2.3.3	Funkstörschutz.....	186
4.2.3.4	Brandschutz.....	186
4.2.3.5	Explosionsschutz.....	187
4.2.3.6	Ballwurfsicherheit.....	188
4.3	Leuchtentypen.....	188
4.4	Klimaleuchten mit Abluftführung.....	192
5	<b>Beleuchtungsplanung im Innenraum.....</b>	<b>195</b>
5.1	Grundlegendes zur Planung.....	195
5.2	Planung und Informationsumfeld.....	195
5.2.1	Zweckbestimmung der Räume.....	195
5.2.2	Lage des Beleuchtungsobjekts.....	196
5.2.3	Örtliche und klimatische Verhältnisse.....	196
5.2.4	Raumgestaltung.....	196
5.2.5	Personelle Angaben.....	197
5.2.6	Leuchtmittelauswahl.....	198
5.3	Auswirkungen von Projektierungsfehlern.....	198
5.4	Grundgebote für die Projektierung.....	199
5.4.1	Leuchtdichteverteilung.....	200
5.4.1.1	Kontrastsehen.....	201
5.4.2	Beleuchtungsstärke.....	203
5.4.2.1	Beleuchtungsstärkestufen.....	205
5.4.2.2	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke.....	208
5.4.2.3	Wartungswert und Wartungsfaktor.....	210
5.4.3	Blendungsbegrenzung.....	213
5.4.3.1	UGR-Verfahren.....	214
5.4.3.2	Reflexblendung.....	219
5.4.4	Lichtrichtung.....	220
5.4.4.1	Modelling.....	221
5.4.4.2	Schattigkeit.....	222
5.4.5	Lichtfarbe und Farbwiedergabe.....	222

5.4.5.1	Lichtfarbe .....	222
5.4.5.2	Farbwiedergabe .....	223
5.5	Lichttechnische Berechnungen .....	223
5.5.1	Richtwerte .....	223
5.5.2	Punktbeleuchtungsmethode .....	224
5.5.3	Wirkungsgradmethode .....	226
5.5.3.1	Raumwirkungsgrad $\eta_R$ .....	227
5.5.3.2	Beleuchtungswirkungsgrad $\eta_B$ .....	231
5.5.3.3	Dimensionierung der Beleuchtung .....	233
5.5.3.4	UGR-Blendungsbewertung .....	238
5.5.3.5	Auswirkungen von Planungsfehlern .....	239
5.5.4	Computerunterstützte Planung .....	240
5.5.4.1	Grundlegende Funktionsweise .....	241
5.5.4.2	Rechengenauigkeit .....	245
5.6	Wahl der Beleuchtungsart .....	246
5.6.1	Beleuchtungskonzept .....	246
5.6.1.1	Tageslichtergänzungsbeleuchtung .....	246
5.6.1.2	Allgemeinbeleuchtung .....	247
5.6.1.3	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung .....	247
5.6.1.4	Einzelplatzbeleuchtung .....	247
5.6.2	Beleuchtungssysteme .....	248
5.6.2.1	Direktbeleuchtung .....	248
5.6.2.2	Indirektbeleuchtung .....	249
5.6.2.3	Direkt-/Indirektbeleuchtung .....	250
5.7	Wirtschaftlichkeit .....	251
5.7.1	Kosten der Beleuchtung .....	251
5.7.2	Kapitalrückflusszeit .....	252
<b>6</b>	<b>Ausführung von Innenraumanlagen .....</b>	<b>255</b>
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte .....	255
6.1.1	Checkliste zur Planung .....	255
6.1.1.1	Raumeindruck .....	256
6.1.1.2	Tätigkeiten im Raum .....	256
6.1.1.3	Lichttechnische Gütemerkmale .....	257
6.1.1.4	Bauliche Gesichtspunkte .....	258
6.1.1.5	Leuchtenart .....	259
6.1.1.6	Planungsschritte .....	259
6.2	Büro und Verwaltung .....	261
6.2.1	Räume mit normalen Bürotätigkeiten .....	266
6.2.1.1	Zellenbüro .....	266
6.2.1.2	Gruppenbüro .....	267

---

6.2.1.3	Großraumbüro.....	268
6.2.2	Büroräume für spezielle Tätigkeiten.....	269
6.2.2.1	Räume für Bildschirmtätigkeit.....	269
6.2.3	Allgemeine Zonen.....	273
6.3	Unterrichtsstätten.....	274
6.3.1	Normale Unterrichtsräume.....	274
6.3.2	Hörsäle.....	278
6.4	Industrielle Räume.....	278
6.4.1	Anforderungen.....	279
6.4.1.1	Beleuchtungsstärke.....	279
6.4.1.2	Leuchtdichtevertelung.....	280
6.4.1.3	Blendungsbegrenzung.....	281
6.4.1.4	Lichtrichtung und Schattigkeit.....	281
6.4.2	Lampenwahl.....	281
6.4.3	Leuchtenwahl.....	283
6.4.3.1	Raumhöhe und Leuchtenauswahl.....	284
6.4.4	Raumfunktion und Beleuchtungsart.....	286
6.4.4.1	Anordnung von Lichtbändern.....	286
6.4.5	Spezielle Sehaufgaben.....	289
6.4.5.1	Spezielle Leuchtenanordnung.....	289
6.4.5.2	Kontrolltätigkeiten.....	290
6.4.6	Nebenräume.....	291
6.5	Handwerk und Gewerbe.....	293
6.5.1	Landwirtschaft.....	295
6.5.2	Kfz- und Autolackierwerkstätten.....	295
6.5.3	Bauschreinerei und Tischlerei.....	296
6.5.4	Feinmechanische Werkstätten.....	297
6.6	Schaufenster und Verkaufsräume.....	298
6.6.1	Schaufenster.....	298
6.6.1.1	Planerische Hinweise.....	300
6.6.1.2	Ausbleichen von Farben.....	302
6.6.1.3	Variable Leuchtenstandorte.....	303
6.6.2	Verkaufsräume.....	305
6.6.2.1	Spezifische Funktionen der Beleuchtung.....	305
6.6.2.2	Planungsgrundsätze.....	307
6.6.2.3	Beleuchtungskonzepte.....	309
6.6.2.4	Differenzierte Verkaufsraumbeleuchtung.....	313
6.7	Gastgewerbe.....	314
6.7.1	Eingangszonen.....	314
6.7.2	Restauranträume.....	316
6.7.2.1	Räume mit gehobenen Ansprüchen.....	317
6.7.2.2	Schnellimbissräume.....	318

6.7.3	Treppen und Flure .....	319
6.7.4	Hotelzimmer .....	320
6.8	Krankenräume .....	321
6.8.1	Bettenräume .....	323
6.8.2	Untersuchungs- und Behandlungsräume .....	324
6.8.3	Operationssaal .....	325
6.9	Sporthallen .....	326
6.9.1	Anforderungen .....	326
6.9.1.1	Beleuchtungsklassen .....	326
6.9.1.2	Beleuchtungsstärke .....	327
6.9.1.3	Blendungsbegrenzung .....	329
6.9.2	Tennishallen .....	330
6.9.3	Squash-Hallen .....	330
6.9.4	Kegelbahnen .....	331
6.9.5	Schießstände .....	331
6.9.6	Reithallen .....	332
6.10	Tageslichtsysteme .....	332
6.10.1	Die Sonne als Universallichtquelle .....	332
6.10.1.1	Tageslichtquotient .....	333
6.10.1.2	Fenster als Lichtfilter .....	335
6.10.1.3	Grundregeln .....	336
6.10.2	Oberlichtsysteme mit Ausblendraster .....	338
6.10.3	Seitenlichtsysteme .....	339
6.10.4	Heliostate .....	340
6.11	Tageslicht und regelbares Kunstlicht .....	341
6.11.1	Regelkonzepte .....	342
6.11.1.1	Messen der Leuchtdichte auf einer repräsentativen Fläche .....	342
6.11.1.2	Messen der Fensterleuchtdichte in einem Einzelraum .....	343
6.11.1.3	Lichtmanagementsystem .....	344
6.11.2	Passiv-Infrarot-Präsenzmelder (PIR) .....	346
6.11.3	Lichtmanagement und Energieeinsparung .....	350
6.11.3.1	Unnötigen Energieverbrauch verhindern .....	350
6.12	Notbeleuchtung .....	351
6.12.1	Arten der Notbeleuchtung .....	352
6.12.2	Ersatzbeleuchtung .....	353
6.12.3	Sicherheitsbeleuchtung .....	353
6.12.3.1	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege .....	355
6.12.3.2	Antipanikbeleuchtung .....	357
6.12.3.3	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung .....	357
6.12.4	Sicherheitszeichen .....	358
6.12.5	Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung .....	359



---

6.12.6	Lichttechnische Projektierung .....	359
6.12.7	Anlagendokumentation und Abnahmeprüfung.....	362
<b>7</b>	<b>Wartung und Sanierung von Innenraumanlagen.....</b>	<b>365</b>
7.1	Wartungsfaktor.....	365
7.1.1	Wartungsplanung.....	366
7.1.2	Wartungsplanarten und Wartungsplantypen.....	366
7.2	Sanierungsgründe .....	367
7.2.1	Veraltete Beleuchtungsanlagen .....	368
7.2.2	Bessere Ergonomie.....	369
7.2.3	Hohes Energieeinspar-Potential.....	370
7.3	Vorgehen bei der Beleuchtungssanierung.....	370
7.3.1	Schaufgaben .....	371
7.3.2	Tageslichtbeleuchtung .....	371
7.3.3	Beleuchtungskonzept .....	371
7.3.3.1	Beleuchtungsart .....	371
7.3.4	Technische Anforderungen.....	372
7.3.5	Alternativlösungen .....	372
<b>8</b>	<b>Beleuchtungsanlagen im Freien.....</b>	<b>375</b>
8.1	Straßenbeleuchtung.....	375
8.1.1	Blendungsbegrenzung .....	377
8.1.1.1	Psychologische Blendung .....	377
8.1.1.2	Physiologische Blendung.....	378
8.1.2	Gütemerkmale.....	380
8.1.3	Fahrbahnklassen.....	381
8.1.4	Berechnungsmethoden .....	383
8.1.4.1	Berechnung der Leuchtdichte.....	383
8.1.4.2	Berechnung der Beleuchtungsstärke.....	385
8.1.5	Beleuchtungsklassen.....	387
8.1.5.1	Bestimmen der Beleuchtungsklasse .....	388
8.1.5.2	Beleuchtungsklasse M1 bis M6 .....	390
8.1.5.3	Beleuchtungsklasse P1 bis P6.....	391
8.1.5.4	Beleuchtungsklasse C0 bis C5 .....	393
8.1.6	Betrieb und Wartung.....	394
8.1.6.1	Dynamische Beleuchtung .....	394
8.1.6.2	Effizienz von Straßenbeleuchtungsanlagen.....	395
8.1.6.3	Wartungsfaktor.....	397
8.1.6.4	Konstant-Lichtstrom CLO .....	399
8.1.7	Fußgängerbereiche.....	400

8.1.7.1	Halbzylindrische Beleuchtungsstärke .....	400
8.1.7.2	Vertikale Beleuchtungsstärke .....	400
8.1.7.3	Halbsphärische Beleuchtungsstärke .....	401
8.1.8	Parkplätze .....	401
8.1.9	Fußgängerüberwege .....	402
8.2	Arbeitsplätze im Freien .....	404
8.2.1	Beleuchtungsstärke .....	405
8.3	Fassadenanstrahlung .....	406
8.4	Sportanlagen .....	407
8.4.1	Fußballstadien für TV-Aufnahmen .....	408
8.4.1.1	Flutlicht für Fußballstadien .....	409
8.4.1.2	Beleuchtungsanforderungen der UEFA/FIFA .....	410
8.4.1.3	Lichtquellen und Leuchten .....	411
8.4.2	Fußballplätze .....	411
8.4.3	Tennisplätze .....	413
8.5	Lichtimmissionen und Ökologie .....	414
8.5.1	Schutz nachtaktiver Insekten .....	416
<b>9</b>	<b>Pflanzenbestrahlung .....</b>	<b>419</b>
9.1	Biologische Reaktionen auf Licht .....	419
9.2	Strahlungsquellen .....	422
9.3	Praktische Hinweise .....	425
<b>10</b>	<b>Lichttechnische Messungen .....</b>	<b>427</b>
10.1	Grundlagen .....	427
10.1.1	Lichtelektrische Empfänger .....	428
10.1.2	Genauigkeitseinflüsse .....	429
10.1.3	Messgeräte für die Praxis .....	435
10.1.3.1	Beleuchtungsstärkemesser .....	435
10.1.3.2	Leuchtdichtemesser .....	435
10.1.3.3	Weitere Messgeräte .....	436
10.2	Messungen an Leuchten .....	437
10.2.1	Lichtstärkeverteilung .....	438
10.2.2	Leuchtdichtemessung .....	440
10.2.3	Leuchten-Betriebswirkungsgrad .....	440
10.3	Messungen im Innenraum .....	441
10.3.1	Messung der Beleuchtungsstärke .....	442
10.3.1.1	Leere Räume .....	443
10.3.1.2	Räume mit Inneneinrichtungen .....	444
10.3.1.3	Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung .....	445

---

10.3.1.4	Messung des Tageslichtquotienten .....	445
10.3.2	Messung der Leuchtdichte .....	447
10.3.2.1	Örtliche Leuchtdichte .....	447
10.3.2.2	Mittlere Leuchtdichte .....	448
10.3.3	Reflexion der Raumbegrenzungsfläche .....	448
10.3.4	Farben messen .....	449
10.3.5	Einflussgrößen .....	450
10.3.6	Auswerten der Messung .....	451
10.3.6.1	Korrekturfaktoren .....	451
10.3.6.2	Messprotokoll .....	453
10.3.6.3	Genauigkeit der Messung .....	453
11	<b>Normen</b> .....	455
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	461